

國立臺灣大學生命科學院生態學與演化生物學研究所



碩士論文

Institute of Ecology and Evolutionary Biology

College of Life Science

National Taiwan University

Master Thesis

山麻雀物種分布模式

Species distribution models of
Russet Sparrow (*Passer cinnamomeus*)

謝承恩

Cheng-En Hsieh

指導教授：李培芬 博士

Advisor: Pei-Fen Lee, Ph. D.

中華民國 108 年 7 月

July 2019

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

山麻雀物種分布模式

Species distribution models of
Russet Sparrow (*Passer cinnamomeus*)

本論文係謝承恩君（學號R05B44020）在國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所完成之碩士學位論文，於民國108年7月30日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

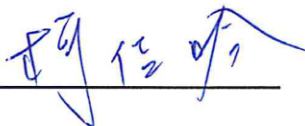
臺灣大學生態學與演化生物學研究所

李培芬 博士



臺灣大學漁業科學研究所

柯佳吟 博士




特有生物研究保育中心

林瑞興 博士



所長



(簽名)

致謝



能夠完成這份論文，首先要感謝李培芬老師讓我加入空間生態研究室這個大家庭，學習以大尺度探討生態學的問題，並給予我研究方向的指導。感謝柯佳吟老師與林瑞興老師，在口試時給予建議，讓研究更完整，也讓我思考更多不同層面的問題，真的是獲益良多。

進行山麻雀這個題目，要謝謝林瑞興老師和蔡若詩老師提出這個構想，我才能接續完成。感謝林瑞興老師總是在百忙之中抽空和我們討論論文的架構，每次討論完，都覺得收穫滿滿，提醒了很多我之前沒有考慮到的問題。也謝謝蔡若詩老師在幾次研討會中碰面時，總是親切地給予一些建議。

謝謝空間生態研究室的夥伴們在研究過程中給予研究與精神上的支持，很感謝小柯在我碩一時常常和我們一起討論，一步一步帶領我們思考問題、想如何解決的方法，那段時間的討論是很棒的邏輯訓練，解決問題的過程雖然充滿很多挑戰但也非常有趣。也謝謝小柯帶我們上玉山做繁殖鳥類大調查，能夠幸運參與到真的是很難得的體驗，超開心的～謝謝宛均開工作坊教我們 SDM 的操作，還多次提供我們住宿的地方，真的很感謝。還有謝謝小蟲常被我的訊息騷擾，遠端救援幫助我解決分析方法上的困難。非常感謝承恩學長教我認識各種兩爬動物們與放蝦籠的技巧，每次出差總是可以學到很多動物們的小知識，也謝謝學長總是會關心我們，提供很多寶貴的研究建議。謝謝「宜蘭王鳥巨巨」趙偉凱，總是幫忙解答各種鳥類的問題，也和我討論論文的架構與各種問題，還提供山麻雀照片給我，真的很謝謝您！以及小間一起奮鬥的好夥伴旻萱、義翔、金穎，一起熬夜趕分析、做壁報，一起在無數個晚餐當中，彼此討論、加油打氣，有你們的互相鼓勵才能堅持下去。謝謝家琪幫我看論文、和我討論細節還幫忙口試紀錄，真的是太感謝了！謝謝俊怡在壁報展的時候還特地來看我們，給予許多建議。謝謝過去常一起出差的好夥伴孟翰，給予研究上的建議。謝謝彥蓉常常分享水果給我們吃，也給我很多研究上的建議與鼓勵。謝謝維維和逸民給予模式建構的幫助；謝謝 Fish、志華、軒逸在 meeting 時給予建議；謝謝浥璋學長、時平學長、威捷學長與志融學長在口試前幫我加油打氣；



謝謝柯媽平時的照顧及口試前幫我們準備東西；謝謝建兆學長多次幫我解決電腦的相關問題；謝謝旻萱、金穎、佳微、巨巨和家琪聽我預講，協助我修改簡報內容並給我很大的信心，讓我能順利通過口試。非常感謝有大家的幫助，度過口試前崩潰煎熬的時期。

感謝全球的 eBirder 們無私地分享自己的紀錄，讓我能運用公民科學的資料進行這個大尺度的分析，為了回報這些默默紀錄的賞鳥者，我也會多紀錄的！參加研討會壁報展示時，獲得很多的建議，謝謝這些雖然不認識我，但還是很願意聆聽與給予回饋的生態人們。也謝謝嘉大劉奕忻同學幫我解答山麻雀的相關問題。

感謝我的家人，尤其是我媽，自從念研究所開始認真看鳥後，常常和我到不同的地方賞鳥，還跟著我一起完成各式各樣的 eBird 挑戰與 BBS 調查（忘了跟妳說之後還要繼續調查喔～哈哈 XD）。謝謝好友郁涵的鼓勵，每次聚餐都能獲得正能量再繼續向前。謝謝王瑤總是分享各種食物給我，受妳照顧了～

研究所期間參與了很多大大小小的研討會、演講，看到很多人一直在為這塊土地努力、保護環境和各種生物，每次都覺得很感動，有您們真好！對我來說，研究所就像是一場馬拉松，每個人有自己的速度，雖然看到別人可以很快地完成論文還是會覺得羨慕，但重要的是在不停思考、腦力激盪的過程中，自己獲得了什麼，知道自己正在前進就足夠了。做大尺度分析最需要的就是耐心吧！常常做一次模式分析就要等上一兩天的時間，一個步驟做錯或是哪個部分沒有想得很全面，就要重新再跑一次。而且做模式分析時常常做一步卡一步，每次都卡關到懷疑人生，但是感謝一路上很多人的幫助，大大縮短了我與畢業的距離。

研究所階段也參與了繁殖鳥類大調查、新年數鳥、小瓣鴿普查、賞鳥大賽（謝謝巨巨、尚恩和羅萱一起參加累死人的賞鳥大賽，真的是很特別的經驗）等，很開心可以和大家一起看鳥、一起找鳥再一起槓龜，豐富了研究生的生活，希望未來還能和大家到各個地方賞鳥。

最後謝謝閱讀這篇論文的你，如果我的研究能有一點點的貢獻，那我就心滿意足了！

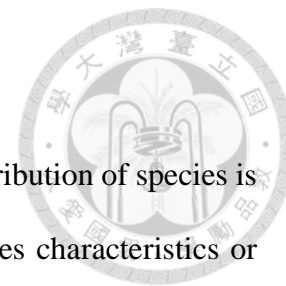
摘要



瞭解限制物種分布的環境因子是物種保育重要的基礎，但受限於物種特性或調查限制，物種的分布範圍、棲息地等相關知識無法全面瞭解。物種分布模式 (Species Distribution Models) 運用物種出現的紀錄和相關的環境因子來預測物種的潛在棲地，於提供生態與保育管理的資訊，評估生物多樣性與保護區設定的策略等有廣泛的應用價值。在臺灣，山麻雀 (*Passer cinnamomeus*) 面臨數量減少與分布範圍縮減的威脅，目前估計全臺灣島族群量在 1,000 隻以下。山麻雀主要分布海拔介於 600 至 2000 公尺，早期文獻稱山麻雀的數量普遍，常可見於空曠或已開墾之地區。過去一些可見到山麻雀蹤跡的地區，現已不再有山麻雀的紀錄，山麻雀面臨的威脅尚未確定。過去山麻雀的研究多針對臺灣特定地區進行，其族群狀態與趨勢為綜合不同空間尺度，各項環境與生物因子共同作用的結果。本研究嘗試由東亞尺度分析山麻雀完整分布範圍的環境特性，並與臺灣分布現況比較，以探討其分布受壓縮的程度與可能原因。藉由山麻雀在東亞分布的資料與環境資料，以三種模式 (MaxEnt, GARP 和 Bioclim) 分別建立東亞尺度(約 10×10 公里)及臺灣尺度(約 1×1 公里)的物種分布模式，並分析合適棲地的棲地特性。結果顯示，將山麻雀在東亞尺度預測的合適棲地範圍投射於臺灣島，和臺灣尺度的合適棲地範圍比較時，東亞尺度在臺灣的合適棲地範圍大於臺灣尺度 (60.6% > 13.8%)。不同尺度預測模式的重要環境因子亦不相同，東亞尺度的重要環境因子皆與自然的植被類型有關，而臺灣尺度則和海拔高度、溫度與降水量有關。由模式之合適棲地特性分析得知，山麻雀的合適棲地分布較靠近山區 (1100m) 且年降水量豐沛 (1400mm) 的區域，從植被類型來看，合適棲地位於農業和自然環境的交界帶。透過不同尺度的物種分布模式結果，山麻雀在臺灣的合適棲地範圍應大於現有的分布範圍，推測棲地量應不是山麻雀分布限制的因子。建議未來可針對非繁殖季的棲息環境、不同海拔的繁殖成功率與行為及築巢地點的選擇來探討山麻雀在臺灣分布受限的因子，並可以參考本研究臺灣尺度的合適棲地範圍，規劃系統性調查和長期監測，為山麻雀的保育提供更完整的資訊。

關鍵字：山麻雀、物種分布模式、合適棲地、eBird 賞鳥資料庫

Abstract

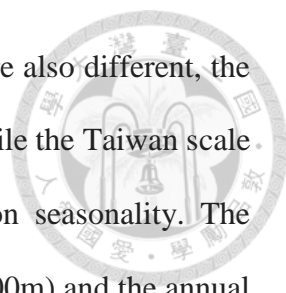


Understanding the environmental factors that influence the distribution of species is an important basis for species conservation, but restricted by species characteristics or survey constraints, the knowledge of species distribution and habitats cannot be fully understood. Species Distribution Models use species occurrences data and related environmental data to predict potential habitats, providing information on ecological and conservation management, and evaluate strategies for biodiversity and protected areas.

In Taiwan, the Russet Sparrow (*Passer cinnamomeus*) faces the threat of abundance declining and distribution range decreasing. It is estimated that the population in Taiwan is below 1,000. The Russet Sparrow mainly distribute on the altitude range from 600 to 2000 meters. The earlier literature recorded that the number of Russet Sparrow was common and could be found around agricultural land, but now Russet Sparrow cannot be observed in some areas where Russet Sparrow was abundant before. However, the threat has not been determined.

The researches about Russet Sparrow were mostly studied in specific areas of Taiwan. The population status and trends were the results of combining different spatial scales and various environmental and biological factors. This study attempts to analyze the environmental characteristics of the complete distribution of Russet Sparrow from the East Asian scale, and compare it with the current situation in Taiwan to explore the distribution extent and possible reasons. Using eBird open data and environmental data to establish East Asia scale (about 10×10 km) and Taiwan scale (about 1×1 km) of species distribution models by three models (MaxEnt, GARP and Bioclim) respectively. And then analyze the habitat characteristics of suitable habitats.

The results show that when comparing different scale of suitable habitats in Taiwan, the suitable habitats range from East Asian scale are larger than the Taiwan scale (60.6%



> 13.8%). The important environmental factors of different scales are also different, the factors of East Asian scale are related to natural vegetation types, while the Taiwan scale is related to the altitude, temperature seasonality and precipitation seasonality. The suitable habitats of Russet Sparrow is close to mountainous area (1100m) and the annual precipitation is abundant (1400mm). From the vegetation type, the suitable habitats is located in the agricultural and natural environment. Through the results of species distribution patterns of different scales, the suitable habitat of the mountain sparrow in Taiwan should be larger than the existing distribution range. It is assumed that the habitat amount should not be a factor limiting the distribution of Russet Sparrow.

It is suggested that in the future, we can explore the factors that restrict the distribution of Russet Sparrow in Taiwan, like habitats of non-breeding seasons, the reproductive success rate and behavior at different altitudes, and the choice of nesting sites. We can use the suitable habitat range of Taiwan scale in this study to plan systematic investigations and long-term monitoring, providing more complete information for the conservation of Russet Sparrow.

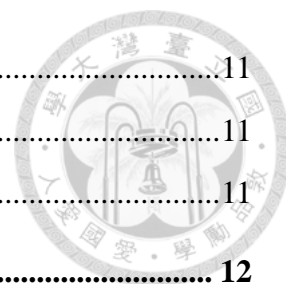
Keywords: Russet Sparrow, Species distribution model, suitable habitat, eBird

目錄



口試委員會審定書.....#	
致謝.....	I
摘要.....	III
ABSTRACT.....	IV
目錄.....	VI
圖目錄.....	VIII
表目錄.....	XI
前言.....	1
材料與方法.....	3
研究物種.....	3
物種資料.....	3
研究範圍.....	4
東亞尺度.....	4
臺灣尺度.....	4
環境因子資料.....	4
氣候.....	5
土地覆蓋類型.....	5
地形.....	5
分析方法.....	5
物種資料整理.....	5
物種分布模式建構.....	6
最大熵值法 (Maximum Entropy, MaxEnt).....	7
遺傳演算法 (Genetic Algorithm for Rule-Set Production, GARP).....	7
Bioclim.....	8
模式驗證.....	8
決定閾值 (threshold).....	10

整合模式 (Ensemble models)	11
山麻雀合適棲地之棲地特性	11
不同尺度預測結果之比較	11
結果	12
山麻雀分布	12
物種分布模式結果	13
東亞尺度	13
臺灣尺度	13
山麻雀合適棲地之棲地特性	15
不同尺度預測結果比較	15
討論	17
物種分布模式	17
合適棲地之棲地特性	18
不同尺度預測結果比較	19
公民科學資料應用	20
預測結果應用及未來研究方向建議	21
參考文獻	23
圖	27
表	55
附錄	71
附錄 1、山麻雀原始資料分布圖	71
附錄 2、環境因子列表	72
附錄 2、環境因子列表(續)	73
附錄 3、各國山麻雀出現網格數	74
附錄 3、各國山麻雀出現網格數(續)	75
附錄 3、各國山麻雀出現網格數(續)	76



圖目錄



圖 1、研究物種：山麻雀 (<i>Passer cinnamomeus</i>).....	27
圖 2、山麻雀全球分布範圍圖	28
圖 3、研究範圍：(A) 東亞尺度(136993 個網格)、(B) 臺灣尺度(46787 個網格)	29
圖 4、物種資料處理流程圖	30
圖 5、山麻雀研究資料與模式建構資料分布圖：(A) 東亞尺度、(B) 臺灣尺度 ..	31
圖 6、山麻雀在東亞出現網格分布圖：(A) 1964–1998 年、(B) 1999–2008 年、(C) 2009–2019 年	32
圖 7、山麻雀東亞尺度現有分布網格 (n=1346) 特性：(A) 年均溫、(B) 平均日溫差、(C) 年溫差、(D) 年降水量、(E) 平均海拔高度、(F) 海拔標準差	33
圖 8、山麻雀東亞尺度現有分布網格 (n=1346) 特性(續)：(G) 常綠/落葉針葉林、(H) 常綠闊葉林、(I) 落葉闊葉林、(J) 混合林、(K) 灌木、(L) 草本植被	34
圖 9、山麻雀東亞尺度現有分布網格 (n=1346) 特性(續)：(M) 栽培和管理作物、(N) 濕地植被、(O) 都市建築物、(P) 雪、(Q) 裸露地、(R) 開放水域	35
圖 10、山麻雀在臺灣出現網格分布圖：(A) 1972–1998 年、(B) 1999–2008 年、(C) 2009–2019 年	36
圖 11、山麻雀臺灣尺度現有分布網格 (n=253) 特性：(A) 年均溫、(B) 平均日溫差、(C) 年溫差、(D) 年降水量、(E) 平均海拔高度、(F) 海拔標準差	37
圖 12、山麻雀臺灣尺度現有分布網格 (n=253) 特性(續)：(G) 常綠/落葉針葉林、(H) 常綠闊葉林、(I) 落葉闊葉林、(J) 混合林、(K) 灌木、(L) 草本植被	



.....38

圖 13、山麻雀臺灣尺度現有分布網格 (n=253) 特性(續)：(M) 栽培和管理作物、
(N) 濕地植被、(O) 都市建築物、(P) 開放水域39

圖 14、東亞尺度 2009–2019 年潛在棲地預測分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、(C)
Bioclim40

圖 15、東亞尺度 2009–2019 年棲地二元分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、(C) Bioclim
.....41

圖 16、東亞尺度整合模式預測結果：(A) 三種模式的棲地二元分布圖疊合、(B)
合適棲地(兩個以上的模式預測為出現的網格)42

圖 17、東亞尺度合適棲地與山麻雀歷年繁殖季出現網格比較43

圖 18、臺灣尺度 1972–1998 年潛在棲地預測分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、(C)
Bioclim44

圖 19、臺灣尺度 1972–1998 年棲地二元分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、(C) Bioclim
.....45

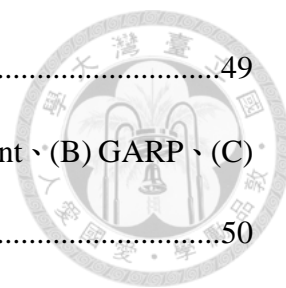
圖 20、臺灣尺度 1972–1998 年整合模式預測結果：(A) 三種模式的棲地二元分布
圖疊合、(B) 合適棲地(兩個以上的模式預測為出現的網格)、(C) 與山麻雀
1972–1998 年繁殖季出現網格比較46

圖 21、臺灣尺度 1999–2008 年潛在棲地預測分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、(C)
Bioclim47

圖 22、臺灣尺度 1999–2008 年棲地二元分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、(C) Bioclim
.....48

圖 23、臺灣尺度 1999–2008 年整合模式預測結果：(A) 三種模式的棲地二元分布
圖疊合、(B) 合適棲地(兩個以上的模式預測為出現的網格)、(C) 與山麻雀

1972–2008 年繁殖季出現網格比較	49
圖 24、臺灣尺度 2009–2019 年潛在棲地預測分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、(C) Bioclim	50
圖 25、臺灣尺度 2009–2019 年棲地二元分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、(C) Bioclim	51
圖 26、臺灣尺度 2009–2019 年整合模式預測結果：(A) 三種模式的棲地二元分布圖疊合、(B) 合適棲地(兩個以上的模式預測為出現的網格)、(C) 與山麻雀在臺灣歷年繁殖季出現網格比較.....	52
圖 27、東亞尺度和臺灣尺度 2009–2019 年物種分布模式比較：(A) 東亞尺度預測 (10×10 Km)、(B) 東亞尺度預測 (1×1 Km)、(C) 合適棲地範圍比較.....	53
圖 28、不同尺度預測結果比較：(A) 東亞尺度與臺灣尺度 2009–2019 年預測差異分布、(B) 平均海拔高度比較.....	54



表目錄



表 1、東亞尺度環境因子相關性檢定 (Pearson's correlation coefficient).....	55
表 2、臺灣尺度環境因子相關性檢定 (Pearson's correlation coefficient).....	58
表 3、本研究東亞尺度與臺灣尺度使用之環境因子	61
表 4、山麻雀在東亞尺度與臺灣尺度三個時期的資料筆數與網格數	62
表 5、山麻雀東亞尺度現有分布網格棲地特性 (n=1346)	63
表 6、山麻雀在臺灣尺度現有分布網格棲地特性 (n=253)	64
表 7、MaxEnt、GARP 和 Bioclim 三種模式各別的閾值、合適棲地網格數、AUC 值及 Kappa 值	65
表 8、MaxEnt 模式各環境因子於東亞尺度和臺灣尺度的相對貢獻度	66
表 9、山麻雀東亞尺度合適棲地特性 (n=32556)	67
表 10、山麻雀臺灣尺度合適棲地特性 (n=6467)	68
表 11、東亞尺度與臺灣尺度合適棲地比較	69
表 12、東亞尺度與臺灣尺度合適棲地差異之棲地特性 (n=22006)	70

前言



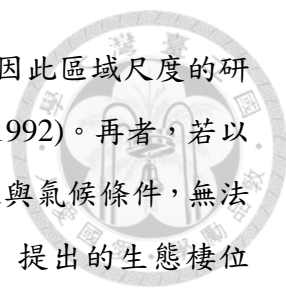
生物的分布受到不同時空尺度下不同強度的多種因子影響，如環境因子、生物因子、物種播遷能力及物種在演化歷史上是否有適應新環境的能力等，皆會影響生物在地理上的分布 (Gaston 2003, Soberon and Peterson 2005)。分析物種和環境之間的關係，是物種保育重要的基礎 (Grand and Cushman 2003)，但是當調查物種數量稀少或特性較隱密、調查地點不易抵達或物種分布範圍過大無法全面普查時，物種的分布範圍、棲息地等相關知識通常無法全面瞭解 (Thrush et al. 2005)。

物種分布模式 (Species Distribution Models) 是目前用於預測物種潛在分布範圍的重要工具 (Guisan and Thuiller 2005, Elith and Leathwick 2009)。模式結合物種出現的紀錄和相關的環境因子來推估物種的潛在棲地 (Franklin 2010)，物種潛在棲地可以提供為生態與保育管理的資訊，包括評估生物多樣性與設定優先保護的區域等 (Guisan et al. 2013)。物種分布模式運用的類群非常廣，如於鳥類 (Royle et al. 2012)、哺乳類 (Nezer et al. 2016)、兩棲類 (Bourke et al. 2012) 及植物 (Ehrlén and Morris 2015) 等，都已有非常多的應用與研究案例。

在臺灣，山麻雀 (*Passer cinnamomeus*) 面臨數量減少與分布範圍縮減的威脅，目前估計全島族群量在1000隻以下 (呂佳家等 2018)。山麻雀分布海拔介於300至2000公尺，以600至2000公尺為主要活動與繁殖範圍 (翟鵬 1977)。早期文獻提到山麻雀的數量尚稱普遍，通常可見於空曠或已開墾之地區 (翟鵬 1977, 張萬福 1980)。過去在臺中谷關、屏東霧台等地常可見到山麻雀的蹤跡 (沙謙中 1986, 方偉宏 2004, 王龍兒 2013)，但近年這些地區已經沒有山麻雀的紀錄 (盧冠安 2004, 溫唯佳和蔡若詩 2015)，然而山麻雀面臨的主要威脅仍尚未確定。

從全世界地理分布來看，山麻雀分布範圍東起日本、南北韓、臺灣，西至中國南部、越南北部、寮國、泰國及緬甸，最西分布到西馬拉雅山山區，侷限於東亞一帶 (BirdLife International 2017)。山麻雀在國際自然保育聯盟 (International Union for Conservation of Nature, 以下簡稱IUCN) 紅皮書中屬於無危 (Least Concern, LC) 等級 (IUCN 2019)，但在臺灣目前列為瀕臨絕種保育類野生動物 (林務局 2019)。

過去山麻雀的研究多針對臺灣特定地區進行，主要著重於棲息地特徵或巢位選擇的探討 (盧冠安 2004, 廖晟宏 2016, 林雅雯 2018)。但是當地族群可能受到區域 (regional) 或大陸 (continental) 尺度的歷史和環境過程影響，且生態過程



(ecological process) 在不同尺度產生的形式 (pattern) 也不同，因此區域尺度的研究對更細尺度的群聚生態學研究非常重要 (Ricklefs 1987, Levin 1992)。再者，若以臺灣本島範圍分析物種的分布限制因子，可能受限於臺灣的地理與氣候條件，無法呈現物種在生理上能適應的所有範圍。根據Hutchinson (1957) 提出的生態棲位 (ecological niche) 概念，將每個物種可以生存、繁殖的物理與化學條件範圍定義為基礎生態棲位 (fundamental niche)，但是物種與其它生物間的交互作用下，只能運用部分的基礎生態棲位，因此真正能生存的生態棲位為實際生態棲位 (realized niche)。要得到物種在所有自然環境條件下適應的範圍，相當地困難，因此常透過建構模式找出物種出現和最密切相關的環境變數組合，再運用地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 投射至地景預測合適的區域 (Soberon and Peterson 2005)，而物種分布模式可作為物種和環境因子之間的連結 (Guisan and Thuiller 2005)。將模式預測物種的潛在棲地，代表物種在空間分布上的基礎生態棲位。另一方面，物種實際的分布範圍則代表實際生態棲位。藉由不同尺度的預測結果和實際分布範圍比較，將可瞭解物種在不同尺度下預測的差異。

本研究嘗試由山麻雀在全球的分布範圍，即東亞地區來分析山麻雀完整的分布範圍環境特性。建立東亞、臺灣兩種空間尺度的物種分布模式與合適棲地的棲地特性，同時比較不同尺度的模式在臺灣預測的差異、並與臺灣分布現況比較。希望藉不同尺度的模式預測結果，瞭解山麻雀在臺灣分布受壓縮的程度與哪些地區可能是山麻雀的潛在棲地，並推測受壓縮的可能原因以作為保育策略上的建議。

材料與方法



研究物種

山麻雀學名常被稱為 *Passer rutilans* (Temminck)，經考證該種名發表於 1836 年 12 月 31 日，但 Gould 已於 1836 年 4 月 8 日發表該種 (Mlíkovský 2011)。根據優先原則，山麻雀學名應為 *Passer cinnamomeus* (Gould, 1836)。

山麻雀屬於麻雀科 (Passeridae) 麻雀屬 (*Passer*) (Clements 2018)。體長約 13 cm，雌雄鳥羽色略異，雄鳥頭上、背部為鮮豔栗紅色，背羽具黑色縱斑，嘴、眼先及喉中央為黑色，頰白色，胸腹灰白色，尾羽黑褐色；雌鳥具淡黃色眉斑，喉中央無黑斑，頭上及背部為灰褐色。幼鳥似雌鳥。和臺灣另一相似種麻雀 (*P. montanus*) 最大的差異在於山麻雀沒有黑色頰斑 (劉小如等 2012) (圖 1)。

根據國際鳥盟 (BirdLife International，以下簡稱 BirdLife) 的鳥種分布範圍，山麻雀分布範圍西起巴基斯坦，沿印度、尼泊爾、不丹呈帶狀分布，至中國東南半部、最南分布至泰國北部，往東分布至臺灣、南韓及日本，最北至俄羅斯庫頁島，侷限分布於東亞一帶 (BirdLife International 2017) (圖 2)。山麻雀目前一般分為 3 個亞種：*P. c. rutilans* 分布在中國華中及華南、臺灣、南韓、日本及庫頁島；*P. c. intensior* 分布於中國西南部、緬甸東部、寮國和越南北部；*P. c. cinnamomeus* 分布喜馬拉雅山區 (BirdLife International 2017, Clements 2018)。

物種資料

本研究山麻雀資料取自公民科學 (Citizen Science) 家的資料累積，資料申請自 eBird 賞鳥資料庫 (Sullivan et al. 2009)，eBird 賞鳥資料庫是一個即時的線上資料庫，由康乃爾大學鳥類學實驗室 (Cornell Lab of Ornithology) 和奧杜邦學會 (National Audubon Society) 於 2002 年成立。eBird 賞鳥資料庫是目前全世界最大且發展最快的生物多樣性資料庫之一，不論是專業或業餘的賞鳥者，皆可記錄並上傳資料，提交的紀錄需包含日期、地點、鳥種名、鳥種是否出現和數量等資訊。藉由公民科學的力量，截至 2019 年 6 月，全球使用 eBird 人數已達 48 萬人，完整紀錄清單 (complete checklists) 也已超過 3600 萬份 (eBird 2012)。這些紀錄清單在時間和空間

尺度上，提供豐富的鳥類數量和分布資料，將可運用在教育、土地管理及生物保育等面向。

本研究申請eBird賞鳥資料庫山麻雀全球歷年的基礎資料集，其中臺灣過去紀錄於中華鳥會資料庫的資料已匯入eBird賞鳥資料庫，故申請的eBird資料已包含中華鳥會資料。申請資料時間截至2019年4月30日，共有13197筆紀錄清單(附錄 1)。

研究範圍

東亞尺度

將全球開放地圖 (GADM database version 2.8, <https://gadm.org>) 以 ArcGIS 10.5 的 Fishnet 功能，採用 WGS 84 大地座標 (WGS 84 datum)，建立 0.1×0.1 度(約 10×10 公里)的網格系統。由於山麻雀分布範圍侷限於東亞，因此將 eBird 賞鳥資料庫山麻雀歷年所有紀錄點位，運用 ArcGIS 10.5 以最小凸多邊形法 (minimum convex polygon) 畫出山麻雀分布範圍邊界，再以此邊界運用 ArcGIS Buffer 套件向外延伸 5 度(Stiels et al. 2015, 李文玉 2011)，作為東亞尺度研究範圍，研究範圍橫跨東經 67.8 度至 150 度，北緯 11.4 度至 50.4 度，篩選位於東亞尺度研究範圍內的網格，共 136993 個網格(圖 3A)。

臺灣尺度

山麻雀在臺灣本島為繁殖留鳥，沒有在離島有常年分布且繁殖的紀錄(劉小如等 2012)，因此排除離島，只選取臺灣本島，建立 0.0083×0.0083 度(約 1×1 公里)的網格系統，範圍橫跨東經 120 度至 122 度，北緯 21.8 度至 25.3 度，共 46787 個網格(圖 3B)。

環境因子資料

參考過去相關文獻 (Summers-Smith 1988, 盧冠安 2004, 吳采諭 2012, 廖晟宏 2016)，將可能影響山麻雀分布的環境因子分成氣候、土地覆蓋類型和地形三種類型(附錄 2)。



氣候

氣候資料取自CHELSA (Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas, <http://chelsa-climate.org/>)，資料包含1979年至2013年期間的月均溫和降雨量模式，共有19項因子(附錄 2)，解析度為30角秒 (arc sec)，約1 km，網格系統為WGS84 (Karger et al. 2017)。(註：30角秒約0.0083度，約1 km)。

土地覆蓋類型

土地覆蓋類型資料取自EarthEnv (<https://www.earthenv.org/landcover>)，該份資料整合多個全球遙測的土地覆蓋資料，年份從1992年至2006年，並分成12項土地覆蓋類型(附錄 2)，解析度為30角秒，約1 km，網格系統為WGS84。各項土地覆蓋類型以0–100的百分比表示，每個網格12項土地覆蓋類型加總為100% (Tuanmu and Jetz 2014)。


地形

地形資料取自GMTED2010 (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010, <https://www.usgs.gov/>)，包含最高海拔、平均海拔、最低海拔、海拔標準差(附錄 2)，解析度為30角秒，約1 km，網格系統為WGS84。

分析方法

物種資料整理

山麻雀於eBird資料庫共有13197筆紀錄清單，由於共同觀察紀錄的清單會被分享給多個紀錄者，因此利用團體識別碼 (group identifier) 篩選，刪除重複分享的清單，剩餘10010筆紀錄清單。同時也刪除位於海上的點位資料、座標點位與紀錄地點不符的資料，再經過個人篩選判斷，刪除較有疑慮的資料點位(例如在臺灣都市公園紀錄到山麻雀的點位；或是部分紀錄點位落在BirdLife分布範圍外，經個人篩選判斷刪除較有疑慮的資料)，剩餘9989筆紀錄清單(山麻雀研究資料)。



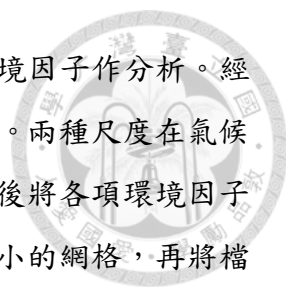
將篩選後的9989筆紀錄清單點位轉化成網格，分別對應至東亞與臺灣兩種尺度。從時間軸來看，以十年為區間，分成2009年–2019年、1999年–2008年及1998年之前(因過去資料筆數較少，故將1998年以前的資料合併)三個時期，統計三個時期的資料筆數及網格數。另依年份呈現各國家紀錄的網格數，以了解山麻雀紀錄在不同時間與空間的分布情形。同時，為瞭解山麻雀現有分布的棲地特性，將歷年出現網格進行環境因子描述性統計分析，呈現物種在溫度、雨量、海拔高度與土地覆蓋類型的特性。

物種分布模式建構

東亞尺度篩選近十年(2009年–2019年)山麻雀資料來進行物種分布模式，因eBird賞鳥資料庫於近十年資料量較豐富且準確性較高(過去的資料紀錄範圍常過大無法知道確切位置)，共篩選出9085筆紀錄清單。由於山麻雀在繁殖季與非繁殖季有遷移行為(Summers-Smith 1988，羅時有 1990)，在不同季節利用的棲地可能不同。山麻雀不同亞種的繁殖季略有差異，*P. c. rutilans* 繁殖季 5–7 月；*P. c. cinnamomeus* 繁殖季 4–8 月；*P. c. intensior* 繁殖季不明 (Summers-Smith 1988)。本研究篩選 4–8 月的紀錄作為繁殖季，共 4683 筆紀錄清單。eBird 紀錄方式可分為行進計數、定點計數與附帶紀錄等方式，其中行進計數的紀錄提供調查的時間和距離，但是從紀錄中無法得知某鳥種紀錄的確切位置，例如調查距離為 30 公里，從資料無法確定該鳥種是在第 1 公里被記錄或是第 30 公里記錄到。為確定鳥種出現在該網格內，本研究在東亞尺度刪除行進距離在 10 公里以上的資料，得到 4131 筆紀錄清單；最後將紀錄清單刪除同樣的座標後，東亞尺度有 2296 個點位資料(803 個網格)進行物種分布模式建構。

為瞭解山麻雀在臺灣不同時期的合適棲地範圍，臺灣尺度將山麻雀資料分成三個時期(2009年–2019年、1999年–2008年及1998年之前)，依照上述資料處理流程，篩選4–8月繁殖季紀錄與eBird紀錄行進距離小於1公里的資料，進行物種分布模式建構(物種資料處理流程圖見圖4，山麻雀資料分布圖見圖5)。

為避免環境因子間彼此高度相關，產生多重共線性 (multicollinearity)，進行模式分析前，先以皮爾森相關性檢定 (Pearson's correlation coefficient) 分別計算東亞尺度和臺灣尺度的相關係數 (correlation coefficients)(表 1、表 2)，若兩兩環境因



子相關係數的絕對值大於 0.8，則刪除其中一項，僅保留一項環境因子作分析。經篩選後，東亞尺度為 22 項環境因子，臺灣尺度為 21 項環境因子。兩種尺度在氣候因子略有不同，土地覆蓋類型因子和地形因子皆相同(表 3)。之後將各項環境因子以 ArcGIS 10.5 Zonal statistic 套件轉換為東亞尺度與臺灣尺度大小的網格，再將檔案轉換成 ASC II 檔。

物種分布模式依照物種出現類型可分為兩類，一是使用出現與未出現的資料 (presence-absence data)，另一個是只有物種出現的資料 (presence-only data)。對大部份的物種而言，要得到詳細未出現的物種資料並不容易，物種未出現的原因可能受調查者經驗、調查努力量影響，未出現的資料可能無法反映真實的情形，因此採用只有物種出現的資料類型建構物種分布模式，本研究運用以下三種模式，分別以東亞尺度和臺灣尺度進行分析。

最大熵值法 (Maximum Entropy, MaxEnt)

最大熵值法的概念源自統計力學 (Jaynes 1957)，特點為可以運用有限的資訊做預測，以機器學習方法建立模式，找出最大熵 (entropy) 的機率分布。MaxEnt 的運算過程以環境因子資料為特徵變數 (features)，每個特徵變數的期望值需符合樣本(物種出現地點)的平均值，最後在所有滿足所有限制下，找出最接近均勻分布的機率分布。MaxEnt 同時會計算各項環境因子對於模式的貢獻度，該貢獻度可視為環境因子對於該物種棲地合適度的重要程度 (Phillips et al. 2006)。

研究使用 MaxEnt v 3.4.1 軟體 (https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/) 建構分布預測模式。模式重複 100 次，設定 20% 的物種資料為驗證資料 (test data)，80% 的物種資料為訓練資料 (training data)，產生隨機點位 10000 個，模式輸出結果形式為 logistic，重複形式 (Replicated run type) 為交叉驗證 (Crossvalidate)，其餘設定皆為 MaxEnt 預設值。

遺傳演算法 (Genetic Algorithm for Rule-Set Production, GARP)

GARP 是由 Stockwell 和 Noble 最早提出，用以描述環境因子限制物種生存的能力，之後被廣泛應用在物種分布模式的預測 (Stockwell and Noble 1992, Stockwell 1999)。GARP 運用遺傳演算法計算物種的生態棲位，模式描述物種能

夠維持其族群的環境條件。其原理利用物種出現的環境條件建立規則集 (Rule-Set)，包含四種不同類型的規則 (Atomic rules, Range rules, Negated range rules, Logistic regression)，模式將符合規則集的網格預測為物種會出現，輸出結果為 1 或 0，代表該地有或沒有該物種。每一種規則建立不同的物種分布模式，像是以物種出現的固定數值來推測，例如物種出現在 15°C，模式判定 15°C 的區域為有出現；或是以物種出現的範圍值來推測，例如物種出現的溫度範圍在 5–25°C，模式即判定 5–25°C 的區域為有出現。

本研究使用 DesktopGarp v 1.1.6 軟體 (<http://web.archive.org/web/20051127012211/http://biodi.sdsc.edu/Doc/GARP/>)，每次隨機取樣 80% 的物種資料進行模式建構，進行 100 次。最後將 100 次的預測結果加總，每個網格會得到 0–100 的數值，再將此數值除以 100，以 0–1 表示，愈接近 1，物種出現機率愈高。

Bioclim

Bioclim 是第一個被廣泛使用的物種分布模式套件，早期應用在保育生物學，像是量化物種的生態棲位，確定外來種可能入侵的區域，協助保護規劃和評估氣候變遷可能對物種分布產生的影響 (Booth et al. 2014)。其演算法將任何位置的環境變量值轉換成物種出現位置 (training data) 的環境變量值百分位數分布，計算並比較位置的相似性。愈接近中位數 (第 50 百分位數)，其位置愈合適。模式輸出的結果介於 0 到 1 之間，數值 1 代表所有環境變量值都位在訓練資料的中位數，符合此條件的位置相當少，因此數值 1 不容易被觀測到。數值 0 則相較常見，因為當其中一個環境變量值超出訓練資料的百分位數分布範圍，就會被界定為 0 (Hijmans and Elith 2013)。本研究以 R v 3.5.1 軟體中的 dismo 套件分析 (Hijmans et al. 2012)。

模式驗證

為估算模式的準確性並比較三個模式的預測情形，本研究運用同一組驗證資料進行模式驗證。將山麻雀實際出現網格作為出現的驗證資料，由於本研究沒有山麻雀未出現的資料，因此選擇山麻雀出現網格之外的其他網格，隨機選擇和山麻雀出現網格數量一樣的網格數作為假性未出現的驗證資料 (pseudo-



absence data)(李文玉 2011)。將驗證資料和模式預測結果做比對時，可以得到以下混淆矩陣 (confusion matrix) (Fielding and Bell 1997)：

		驗證資料	
		實際出現	實際未出現
模式結果	預測出現	a	b
	預測未出現	c	d

混淆矩陣產生四種結果：

- a：真陽性，模式預測出現且物種實際出現
- b：偽陽性，模式預測出現但物種未出現
- c：偽陰性，模式預測未出現但物種卻出現
- d：真陰性，模式預測未出現而物種也未出現

由以上矩陣可以計算敏感性 (sensitivity)，表示物種出現的資料中，正確被模式預測為出現的機率；以及特異性 (specificity)，代表物種未出現資料中，正確被模式預測為未出現的機率 (Boyce et al. 2002)。這兩項數值愈大，分別顯示模式的遺漏誤差 (omission error，物種出現在預測範圍之外的機率) 與超算誤差 (commission error，模式預測範圍內物種未出現的機率) 愈小，預測錯誤會降到最低。敏感性與特異性的計算公式如下：

$$\text{敏感性 (Sensitivity)} = \frac{a}{a + c}$$

$$\text{特異性 (Specificity)} = \frac{d}{b + d}$$

本研究以廣泛使用的兩種驗證方法：曲線下面積 (Area Under the Curve, AUC) 與 Kappa 值，分別對三種模式進行驗證。

AUC 值

AUC 值為 ROC (Receiver Operating Characteristic) 曲線下的面積，其原理將每個機率值作為閾值，以敏感性為 Y 軸，以(1-特異性)為 X 軸，畫出各個

閾值的連續曲線，計算 ROC 曲線下的面積 (Fielding and Bell 1997)。AUC 數值介於 0–1 之間。數值小於 0.5，表示模型預測不佳，不如隨機產生的結果；若數值等於 0.5，表示預測能力等同隨機分布；AUC 值介於 0.5–0.7，表示預測能力較差；數值介於 0.7–0.8，顯示預測能力尚可；若 AUC 值大於 0.8 表示該模型預測能力佳 (DeLeo 1993)。本研究以 R v 3.5.1 軟體中的 PresenceAbsence 套件分析 (Freeman and Moisen 2008)。

Kappa 值

同時評估真陽性、偽陽性、偽陰性與真陰性四種結果，Kappa 值的運算會將所有可能的閾值，將物種分布模式預測結果分類並計算，計算公式如下 (Manel et al. 2001)：

$$(n = a + b + c + d)$$

$$\text{Kappa} = \frac{(a + d) - \frac{((a + b)(a + c) + (b + d)(c + d))}{n}}{n - \frac{((a + b)(a + c) + (b + d)(c + d))}{n}}$$

當 Kappa 值小於 0 表示此模式預測結果非常差；介於 0–0.2 代表預測結果不佳；介於 0.21–0.4 表示預測能力稍差；0.41–0.6 為預測能力中等；介於 0.61–0.8 代表預測能力佳，Kappa 值高於 0.81 表示預測能力非常好 (Landis and Koch 1977)。本研究以 R v 3.5.1 軟體中的 PresenceAbsence 套件分析 (Freeman and Moisen 2008)。

決定閾值 (threshold)

物種分布模式的結果以連續性機率表示，每個網格會有 0–1 的機率值，因此可以決定一個閾值，作為判別棲地合適度的依據，本研究以能夠產生最大 Kappa 值 (MaxKappa) 的閾值作為切點，畫出物種合適棲地二元分布圖。機率值高於閾值的網格，定義為合適棲地；機率值低於閾值的網格，則為非合適棲地。本研究以 R v 3.5.1 軟體中的 PresenceAbsence 套件分析 (Freeman and Moisen 2008)。



整合模式 (Ensemble models)

不同的物種分布模式其演算法不盡相同，若能整合多個模式，整合模式產生的平均誤差將可低於任何單一預測的模式 (Araujo and New 2007)。本研究以頻率直方圖 (frequency histogram) 的方法，將上述三種模式產生的棲地二元分布圖疊合在一起，每個網格會得到0-3的數值，選擇數值大於中位數的網格，也就是當兩個以上的模式預測為出現的網格，視為山麻雀整合模式的合適棲地(之後提到的合適棲地皆為經模式整合後，兩個模式以上預測出現的網格)。

山麻雀合適棲地之棲地特性

將山麻雀由整合模式得到的最終合適棲地，進行環境因子描述性統計分析，呈現山麻雀在東亞尺度與臺灣尺度的合適棲地，其溫度、雨量、海拔高度與土地覆蓋類型的特性。

不同尺度預測結果之比較

為瞭解山麻雀在東亞尺度預測下，在臺灣潛在的棲地範圍，本研究將山麻雀東亞尺度的合適棲地預測結果擷取出臺灣部分，把10×10公里的網格轉換為1×1公里的網格，並篩選落在臺灣本島內的網格。比較同時期2009年-2019年臺灣尺度預測合適棲地的範圍差異及和現有分布的差異。

結果



山麻雀分布

山麻雀歷年 9989 筆研究資料分布最西邊為巴基斯坦(東經 72°)，最東邊為日本(東經 145°)，分布最南邊位於寮國(北緯 18°)，最北邊為俄羅斯庫頁島南方(北緯 46°)，緯度橫跨約 28 度(圖 5)。將研究資料分成三個時期，對應至東亞尺度與臺灣尺度的網格系統，山麻雀資料筆數及佔的網格數隨年份呈現快速增加的趨勢(表 4)。在東亞尺度(10×10 公里)，山麻雀歷年出現 1346 個網格，佔東亞研究範圍總網格數 1%。從資料顯示不同時期資料量差異很大，紀錄年份最早為 1964 年於南韓，前期資料量少，分布零星(圖 6A–B)；後期資料量明顯增加，但紀錄分布多集中在印度北部、不丹等喜馬拉雅山區，及中國東南半部、臺灣與日本(圖 6C)。其中，各國紀錄網格數最多為印度，其次為中國和不丹(附錄 3)。山麻雀在東亞尺度現有分布網格的棲地特性，年均溫約 13°C，平均日溫差約 8°C，年溫差 27°C，年降水量平均約 1477mm，海拔高度跨幅 0–5443m，平均海拔高度約 1560m，海拔標準差約 72m(表 5、圖 7)。利用土地覆蓋類型百分比，以栽培和管理作物最高(31.2%)，其次為混合林(23.5%)和常綠闊葉林(9.4%)(表 5、圖 8、圖 9)。

山麻雀在臺灣尺度(1×1 公里)歷年共有 1697 筆資料，出現於 253 個網格，佔臺灣本島總網格數 0.5% (表 4)。最早紀錄出現於 1972 年武陵農場、谷關及日月潭，1998 年以前紀錄較分散，包含臺中、南投、嘉義、臺南、高雄與屏東(圖 10A)。1999 年–2008 年，臺中谷關、南投日月潭的紀錄減少，嘉義、高雄和屏東的紀錄增加(圖 10B)。2009 年–2019 年，紀錄以宜蘭至南投仁愛鄉(台七甲線至力行產業道路沿線)，與嘉義、臺南山區、曾文水庫附近丘陵為主，以及屏東霧台有少數紀錄(圖 10C)。在臺灣現有分布網格的棲地特性，年均溫約 18°C，平均日溫差約 5°C，年溫差 17°C，年降水量平均約 2400mm，海拔高度跨幅 98–3684m，平均海拔高度約 1035m，海拔標準差約 78m(表 6、圖 11)。利用土地覆蓋類型比例平均，最高為常綠闊葉林(57.5%)，其次為混合林(15.9%)和栽培和管理作物(14.0%)(表 6、圖 12、圖 13)。



物種分布模式結果

東亞尺度

潛在棲地預測結果，顏色愈深代表潛在棲地的預測機率值愈高。在三種模式下，山麻雀潛在棲地的分布形式大致相似，主要沿喜馬拉雅山脈呈帶狀分布，橫跨巴基斯坦北部、印度北部、尼泊爾、不丹與東北印，再到中國雲南、四川和貴州一帶，還有中國東南區域。臺灣山區、南韓及日本中部和關東地區都有較高的機率值(圖 14)。以產生MaxKappa的閾值作為決定合適棲地的閾值，MaxEnt的閾值為0.18，GARP閾值為0.70，Bioclim閾值是0.01(表 7)。由上述閾值畫出的合適棲地範圍以GARP最大，佔46142個網格 (33.7%)；Bioclim次之，共32514個網格 (23.7%)；MaxEnt預測範圍最小，為22879個網格 (16.7%)(圖 15、表 7)。模式驗證中，MaxEnt、GARP和Bioclim的AUC值分別為0.94、0.87和0.86；Kappa值分別為0.72、0.63和0.56，由AUC值和Kappa值來看，MaxEnt的預測表現最佳，其次為GARP，最後則是Bioclim(表 7)。由MaxEnt建構的分布模式中前三項重要環境因子，分別是常綠/落葉針葉林 (23.2%)、常綠闊葉林 (22.3%) 及混合林 (8.3%)(表 8)。

由三個模式整合的合適棲地結果，山麻雀合適棲地有32556個網格，佔東亞研究範圍23.8%(表 7)。主要分布於印度北方、尼泊爾、不丹等喜馬拉雅山區一帶，延伸至中國的雲南、四川、貴州、重慶，往東南至華中、華東與華南地區各省，往北至山西省。臺灣、南北韓及日本，皆為預測的合適棲地(圖 16)。整合模式的Kappa值為0.66，顯示預測能力佳(表 7)。

將東亞尺度合適棲地結果和山麻雀歷年繁殖季出現網格比較，分布形式差異不大，唯中南半島和中國華北部分地區有一些差異。在緬甸、泰國和寮國有部分零星的山麻雀出現紀錄，但是模式並未預測為合適棲地(圖 17)。

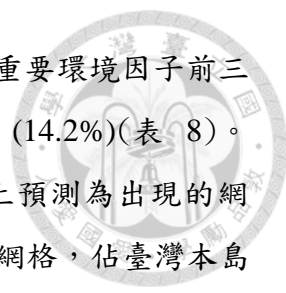
臺灣尺度

將山麻雀資料分成三個時期進行臺灣尺度物種分布模式建構，1972年–1998年的潛在棲地主要位於中南部山區(圖 18)，以產生最大Kappa值的閾值為合適棲地的切點，MaxEnt的閾值為0.23，GARP為0.75，Bioclim的閾值為0.02(表 7)。由閾值決定的棲地二元分布圖，合適棲地預測範圍以GARP最大，共16377個網格

(35.0%)；Bioclim次之，佔11598個網格 (24.8%)；MaxEnt預測範圍最小，共7091個網格 (15.2%)(圖 19、表 7)。MaxEnt、GARP與Bioclim的AUC值分別為0.88、0.88和0.73，由Kappa值來看，三個模式分別為0.55、0.59和0.44，GARP預測表現較好(表 7)。影響山麻雀MaxEnt潛在棲地的重要環境因子前三項分別是平均海拔(48.6%)、栽培和管理作物 (5.1%) 及最乾燥月份之降水量 (5.1%)(表 8)。將三個模式的棲地二元分布圖重疊(圖 20A)，選擇兩個模式以上預測為出現的網格為合適棲地(圖 20B)。合適棲地共11998個網格，佔臺灣本島網格數25.6%。主要分布於中部山區、嘉義至高雄山區及花蓮西半部山區，整合模式的Kappa值為0.57，顯示預測能力中等(表 7)。將合適棲地與山麻雀在臺灣1972年—1998年繁殖季出現網格比較，大部分的山麻雀出現網格都位於合適棲地範圍內(圖 26C)。

1999年—2008年的潛在棲地主要偏向中南部山區(圖 21)，以產生最大Kappa值的閾值為合適棲地的切點，MaxEnt的閾值為0.26，GARP為0.90，Bioclim的閾值為0.01(表 7)。由閾值決定的棲地二元分布圖，合適棲地預測範圍以Bioclim最大，共16274個網格 (34.8%)；GARP次之，佔15632個網格 (33.4%)；MaxEnt預測範圍最小，共7244個網格 (15.5%)(圖 22、表 7)。MaxEnt、GARP與Bioclim的AUC值分別為0.93、0.80和0.72，由Kappa值來看，三個模式分別為0.68、0.47和0.34，MaxEnt預測表現較好(表 7)。影響山麻雀MaxEnt潛在棲地的重要環境因子前三項分別是平均海拔 (35.4%)、降水之季節性 (18.6%) 及溫度恆定性 (14.5%)(表 8)。將三個模式的棲地二元分布圖重疊(圖 20A)，選擇兩個模式以上預測為出現的網格為合適棲地(圖 23B)。合適棲地共12732個網格，佔臺灣本島網格數27.2%。主要分布於臺灣島中央山區，整合模式的Kappa值為0.5，顯示預測能力中等(表 7)。將合適棲地與山麻雀在臺灣1972年—2008年繁殖季出現網格比較，山麻雀出現網格與合適棲地範圍分布形式一致(圖 23C)。

2009年—2019年的山麻雀潛在棲地分布，主要位於臺灣本島中央山區及嘉義、臺南一帶(圖 24)。以產生最大Kappa值的閾值為合適棲地的切點，MaxEnt的閾值為0.14，GARP為0.95，Bioclim的閾值為0.03(表 7)。由閾值決定的棲地二元分布圖，合適棲地預測範圍以GARP最大，共13973個網格 (29.9%)；Bioclim次之，佔5985個網格 (12.8%)；MaxEnt預測範圍最小，共4425個網格 (9.5%)(圖 25、表 7)。MaxEnt、GARP與Bioclim的AUC值分別為0.98、0.92和0.91，三種模式的預測能力皆非常好(表 7)。由Kappa值來看，三個模式分別為0.88、0.73和0.65，MaxEnt預測表現最佳，



其次為GARP和Bioclim(表 7)。影響山麻雀MaxEnt潛在棲地的重要環境因子前三項分別是平均海拔 (28.5%)、溫度季節性 (18.7%)及降水季節性 (14.2%)(表 8)。將三個模式的棲地二元分布圖重疊(圖 26A)，選擇兩個模式以上預測為出現的網格為合適棲地(圖 26B)。臺灣尺度山麻雀的合適棲地共6467個網格，佔臺灣本島網格數13.8%(表 7)。主要分布於臺中、南投山區、中橫公路沿線、嘉義至高雄，鄰近曾文水庫區域，還有花蓮西半部山區也是預測的合適棲地範圍。整合模式的Kappa值為0.76，顯示預測能力佳(表 7)。將臺灣尺度的合適棲地與山麻雀在臺灣歷年繁殖季出現網格比較，大部分的山麻雀出現網格都位於合適棲地範圍內(圖 26C)。少數地區如宜蘭、新竹及屏東霧台有山麻雀出現紀錄，但未被模式預測為合適棲地，不過這些地區出現的資料屬於較早期，近十年來並沒有山麻雀出現紀錄。

山麻雀合適棲地之棲地特性

山麻雀在東亞尺度預測的合適棲地，年均溫約13.9°C，平均日溫差約7.4°C，年溫差27.9°C，年降水量平均約1360mm，海拔高度跨幅0–4928m，平均海拔高度約1073m，海拔標準差約58m(表 9)。利用土地覆蓋類型，以栽培和管理作物最高(34.9%)，其次為混合林 (26.6%) 和常綠/落葉針葉林 (8.6%)(表 9)。

在臺灣尺度，山麻雀合適棲地的年均溫約17.7°C，平均日溫差約5.2°C，年溫差17.5°C，年降水量約2450mm，海拔高度跨幅132–3114m，平均海拔高度約1078m，海拔標準差約87m(表 10)。土地覆蓋類型百分比前三高分別為常綠闊葉林 (68.1%)、混合林 (14.6%)、栽培和管理作物 (9.1%)(表 10)。

不同尺度預測結果比較

將東亞尺度山麻雀合適棲地結果擷取出臺灣部分，共有200個10×10公里的網格(圖 27A)。轉換為1×1公里的網格，並篩選落在臺灣本島內的網格，共有28339個網格，佔全臺網格60.6%(圖 27B)。東亞尺度合適棲地包含新竹、苗栗、臺中、南投，雲嘉南至高雄山區，及花蓮和臺東。新北、桃園、宜蘭和屏東也有小部分的合適棲地，南北範圍跨界相當大。

將東亞尺度和臺灣尺度2009年–2019年的合適棲地疊圖，東亞尺度預測範圍大於臺灣尺度預測的結果 (60.6% > 13.8%)(圖 27C)。且臺灣尺度的合適棲地網格大部分都位在東亞尺度預測的範圍內，共6333格(表 11)。只有少數網格(134格)落在東亞尺度預測範圍之外，位於高雄桃源區、茂林區和屏東海端鄉(圖 27C、表 11)。東亞尺度預測結果有22006個網格是臺灣尺度沒有預測到的，佔全臺網格47%(圖 28A)。

以東亞尺度預測為合適棲地但臺灣尺度未預測的22006個網格進行環境特性分析，年均溫17.2°C，平均日溫差約4.6°C，年溫差16.9°C，年降水量約2446mm，海拔高度跨幅1–3684m，平均海拔高度約1123m，海拔標準差約88m(表 12)。土地覆蓋類型百分比前三項分別為常綠闊葉林 (54.0%)、混合林 (18.8%)、栽培和管理作物 (17.2%)(表 12)。

由上述東亞尺度與臺灣尺度的合適棲地差異分析可以得知兩者在年均溫與降水量差異不大，但東亞尺度預測的海拔高度跨幅較大(表 10、表 12)。再畫出兩種尺度的海拔高度直方圖，低海拔地區有很高的比例被預測為東亞尺度的合適棲地，但臺灣尺度預測結果在低海拔比例卻很少(圖 28B)，且山麻雀實際分布於低海拔地區也相當少(圖 11E)

討論



本研究藉由山麻雀繁殖季的出現資料和環境因子資料，運用三種模式進行東亞尺度和臺灣尺度的物種分布模式預測，合適棲地位於喜馬拉雅山、中國東南方、臺灣、南北韓及日本一帶。由合適棲地之棲地特性分析得知，山麻雀的合適棲地較靠近山區，年降水量豐沛的區域，且位於農業和自然環境的交界帶。MaxEnt模式在不同尺度預測山麻雀的重要環境因子不相同，東亞尺度的重要環境因子皆與自然的植被類型有關，而臺灣尺度則和海拔高度、溫度與降水量等物理因子有關。將臺灣地區不同尺度的預測合適棲地範圍做比較，東亞尺度的合適棲地範圍大於臺灣尺度。

物種分布模式

由東亞尺度山麻雀整合模式結果，合適棲地包含喜馬拉雅山區、中國東南方、臺灣、韓國及日本，和過去文獻指出山麻雀在東洋區 (Oriental) 是相對普遍且分布廣泛的物種 (Mlíkovský 2011) 一致。將整合模式的合適棲地結果，和山麻雀歷年繁殖季出現網格比較，大部分區域預測準確，只有部分地區有差異。其中中南半島的緬甸為山麻雀的度冬地，但本研究未將非繁殖季的資料納入分析，因此在度冬區的預測效果可能較不佳。山麻雀在中國和日本的合適棲地範圍相當大，但從eBird資料庫可發現中國和日本的的山麻雀資料量相較少(附錄 3)，若能將物種資料蒐集更完備，未來物種分布模式的建立也能更準確。

臺灣尺度的合適棲地範圍隨時期呈現略為增加再大幅下降，1999年-2008年合適棲地範圍增加應與資料量增加有關，但近十年資料量大幅增加的情形下，合適棲地範圍仍縮減為全臺14%，約為過去兩個時期的一半，顯示山麻雀的分布範圍縮減。將2009年-2019年合適棲地和山麻雀歷年繁殖季出現網格比較，出現紀錄最多的地區為嘉義、臺南一帶，合適棲地的範圍也是最大的。其次為中橫公路沿線，同樣也是預測的合適棲地範圍。值得注意的是臺中谷關、南投日月潭早期有山麻雀的紀錄，模式也預測為合適棲地，因此推測該地應是適合山麻雀生存的，只是近年已無山麻雀的紀錄。同樣情形也發生在屏東霧台鄉，盧冠安(2004)預測結果顯示屏東霧台為預測分布最密集的地區，同時也是當時觀察山麻雀的熱門地點，但近五年

已沒有山麻雀出現的紀錄。顯示山麻雀在各地的族群變動相當大，仍需要長期的調查以瞭解山麻雀在各地的族群趨勢。另外模式預測花蓮西半部山區為合適棲地，但是過去到現在幾乎沒有山麻雀出現的紀錄，由於無法確定該地區真的沒有山麻雀分布或是因為沒有道路抵達而缺乏紀錄，因此該地區是否為山麻雀可能分布的範圍應持保留態度。由於物種分布模式透過演算法找出和物種實際出現環境相似的區域，但實際上物種是否能利用，需要更多的調查驗證 (Soberon and Peterson 2005)。

合適棲地之棲地特性

由東亞尺度合適棲地的特性分析，合適棲地平均海拔高度1073公尺，但海拔跨幅很大，從平地到4000多公尺的高山皆有分布。臺灣尺度的合適棲地平均海拔1064公尺，分布範圍也同樣偏向山區。過去研究也指出山麻雀主要是山區物種 (montane species)，分布範圍大部分侷限於多丘陵甚至多山的國家 (Summers-Smith 1988)。

從土地覆蓋類型比例可以知道山麻雀的合適棲地網格，在東亞尺度和臺灣尺度，栽培和管理作物、混合林皆列在比例最高的前三項因子之中，另一項因子則分別是常綠/落葉針葉林和常綠闊葉林。顯示山麻雀的合適棲地環境應位於農業和自然環境的交界帶，Summers-Smith (1988) 也提到山麻雀是一種生活在少量林地的鳥類，尤其是位於梯田栽培 (terrace cultivation) 的邊緣，同時也會進入城鎮和鄉村。山麻雀在繁殖期以昆蟲育雛，非繁殖期以穀物、禾本科植物的種子為食 (王李廉 2015, 羅時有等 1990)，根據王李廉 (2015) 的觀察，這類禾本科植物在淺山的農地周圍十分常見，因此山麻雀生活在丘陵多山且有農業和自然環境交界的環境，應和食物資源有關。

由MaxEnt的模式結果得知，影響山麻雀東亞尺度潛在棲地前三項重要環境因子皆和植被類型有關，且主要偏向針葉林、闊葉林等森林的自然環境，同時海拔高度也是相較重要的因子(表 8)，顯示山區且有自然植被的環境是山麻雀主要的潛在棲地類型。而臺灣尺度的重要環境因子和海拔高度、溫度與降水量等物理因子有關，顯示臺灣尺度山麻雀的合適棲地也同樣偏向山區、溫度和雨量變異較大的地區。

從合適棲地之棲地特性分析可以得知所有合適棲地的網格特徵為何，但是每個網格僅能得到該網格的棲地特徵平均值，某一類型的土地覆蓋因子比例高，可能無法反映物種會直接利用和如何利用該項因子。例如山麻雀在臺灣的合適棲地主


要位在中央山區，植被類型以森林為主，所以常綠闊葉林比例很高，但不代表山麻雀會直接使用。且物種利用的微棲地特徵可能在網格內被稀釋無法呈現，盧冠安(2004)調查指出山麻雀繁殖期棲地周圍皆有聚落或少量住宅，但本研究中位於山區建築物在環境因子圖層可能無法顯現，所以在棲地分析上建築物比例都偏少。若需要更詳細的棲地特徵，則需要更細緻的調查與環境因子資料，但由合適棲地特性分析已可以瞭解山麻雀在東亞尺度和臺灣尺度大致的棲地環境。

不同尺度預測結果比較

由東亞尺度和臺灣尺度2009年–2019年的合適棲地疊圖比較結果，顯示不同尺度預測範圍差異很大。根據Hutchinson(1957)提出的生態棲位概念，以東亞尺度預測的合適棲地範圍為山麻雀的基礎生態棲位，表示山麻雀在整個東亞，生理限制上可以適應的範圍。將此適應的範圍投射到臺灣島，預測的合適棲地範圍，除了北部地區和西南半部的平原之外，其餘丘陵、山區等地都被預測為山麻雀的合適棲地，佔全臺面積一半以上(60.6%)。在不考慮其他因素下，理論上山麻雀在臺灣生理條件可以分布的範圍應廣布於全島，但是臺灣尺度預測的範圍卻只佔13.6%，顯示山麻雀在臺灣分布的範圍並未達到最大。

此結果和盧冠安(2004)、吳采諭(2012)的研究結果類似，盧冠安(2004)以2×2公里網格做分布模式預測，合適棲地有1802格，佔全臺19.4%，但收集過去山麻雀資料分布的資料只佔43個網格；吳采諭(2012)以1×1公里網格系統預測分析，山麻雀出現網格為46格，預測合適棲地為9376格，佔全臺26%。不論是以東亞尺度或臺灣尺度作山麻雀的分布預測模式，山麻雀在臺灣的合適棲地皆應該大於現有分布的範圍。

近五年山麻雀穩定出現的區域主要集中在中橫公路沿線至南投仁愛鄉，嘉義梅山鄉、阿里山鄉，及臺南、高雄鄰近曾文水庫周圍一帶(eBird 2012)。過去文獻提到山麻雀曾出現的地區除上述地點外，還包括臺中梨山、谷關，南投霧社、惠蓀林場、日月潭，屏東霧台鄉及臺東南橫利稻等地(方偉宏 2004)。從不同尺度預測結果比較的差異，東亞尺度多預測的合適棲地範圍佔全臺47%，推測較低海拔的地區雖然是山麻雀的潛在合適棲地，但是受到其他因素影響或存在不利山麻雀生存的條件，使山麻雀無法利用所有的棲地範圍，因此山麻雀零星分布限制在山區。



生物的分布受到環境和生物等因子影響，其中生物交互作用在塑造地區 (local) 範圍的物種分布具有重要的影響 (Wisz et al. 2013)。生物交互作用像是競爭者、掠食者或寄主等關係，將限制物種的基礎生態棲位 (Hutchinson 1957)。根據 MacArthur (1972) 提出的概念，物種海拔分布上界常受到環境因子影響，海拔下界則是生物因子影響。推測山麻雀在與其他生物的交互作用下，面臨的生態棲位壓縮程度可能較大，因此實際分布遠小於合適棲地範圍。

山麻雀族群面臨的威脅經常被認為和臺灣另一相似種麻雀的競爭壓力有關 (方偉宏 2004, 盧冠安 2004, 吳采諭 2012, 劉小如等 2012)。因兩者親緣關係接近且食性相似，麻雀海拔分布範圍又與山麻雀多有重疊，但是目前尚未有直接證據支持兩者存在種間競爭。未來需要系統性的調查與長期監測，以掌握山麻雀與麻雀在臺灣的分布情形 (廖晟宏 2016)。

公民科學資料應用

由eBird賞鳥資料庫資料，檢視山麻雀全球歷年的紀錄，可以看出過去資料量並不多。eBird於2002年創立，隨著eBird的推廣和公民科學興起，近十年來，資料量大幅上升，也使得公民科學成為研究中重要的一環 (Sullivan et al. 2014)。在不同年代努力量差異很大，近十年山麻雀的資料筆數及所占網格數雖增加，但沒有證據顯示山麻雀族群有上升情形。

公民科學資料的準確性可能受紀錄者影響，為提升資料準確性，每一筆提交至eBird的紀錄都會經過資料審核過程，eBird利用自動篩選系統，檢查紀錄當中的鳥種、數量、地點和日期等項目，假設紀錄的鳥種或數量超過系統設定的閾值，系統會出現再確認的訊息，讓紀錄者再檢查一次並提供詳細的文字紀錄或照片。透過系統自動篩選，並和各地專家、審核志工合作，確保資料的品質。由於eBird賞鳥資料庫是公開的線上資料庫，任何人上傳的資料都能被他人檢視，透過各地方建立的回報系統，由審核志工做資料審核，讓資料庫的正確性更加完備，而等待審核結果的資料並不會出現在公開的資料庫和地圖中，因此不會影響資料分析的結果。

公民科學已經為許多科學領域做出重大貢獻，為物種保育、自然資源管理和環境保護等領域提供政策制定，並可以促進公民的參與 (McKinley et al. 2017, Robnson et al. 2018)。本研究運用公民科學資料庫得到較豐富的資料，補足空間和



時間上的資料限制。儘管eBird資料庫具有多項優勢，但也面臨一些有別於過去傳統科學資料的挑戰 (Johnston et al. 2019)，像是調查頻度的誤差，例如在容易到達的地點如道路附近或不同季節，資料量會有很大的差異。還有紀錄地點的準確性可能受行進計數或紀錄熱點 (hotspot) 影響，而無法呈現真實的出現位置，同時觀察者經驗與物種偵測度也會造成資料的誤差。因此研究者在處理非結構式的數據可藉由強化資料結構來過濾資料，並在分析模型中加入共變量解釋變化，以最大化公民科學資料的價值 (Johnston et al. 2019)。同時，資料庫審核者若適時給予回饋將有助於資料庫品質提升 (Gilfedder et al. 2018)。

預測結果應用及未來研究方向建議

由不同尺度的物種分布模式比較結果得知，山麻雀在臺灣的合適棲地相當廣，但實際出現範圍卻零星分布於臺灣山區、丘陵帶，顯示山麻雀合適棲地的範圍應大於現有的分布範圍，因此推測棲地數量應不是山麻雀分布限制的因子。未來進行系統性調查，可以參考本研究臺灣尺度的合適棲地範圍來規劃，排除不合適的棲地，以節省調查的人力物力，提升調查效率。同時本研究探討的季節為繁殖季，但山麻雀隨不同季節有垂直遷移現象(羅時有 1990)，在臺灣地區，對於山麻雀非繁殖季的棲地利用尚未明瞭，未來可以針對非繁殖季的棲息環境做更進一步的探討。

過去有研究探討山麻雀在不同海拔高度的繁殖成功率，發現分布在海拔低(200 m)的山麻雀，窩卵數較高且繁殖成功率較高；但分布在高海拔(1500 m)的山麻雀，繁殖季長度顯著高於低海拔地區。顯示繁殖季較長和窩卵數較小，可能是山麻雀在高海拔適應環境的策略 (Yang et al. 2012)。建議未來可針對山麻雀與可能的競爭對象麻雀，在不同海拔的繁殖成功率與行為進行研究，瞭解麻雀是否會對山麻雀產生影響。

近年歐洲各國的家麻雀 (*P. domesticus*) 和麻雀數量迅速下降，在捷克的研究指出家麻雀和麻雀會偏好屋齡較高(30年以上)的建築物來築巢 (Šálek et al. 2015)，在臺灣尚未有研究探討山麻雀是否也有此偏好。山麻雀在非繁殖季雖然是群居性，但是牠們在繁殖季並不屬於高度群居性，1981年在印度穆索里 (Mussooree)，紀錄到150公頃內約有50對山麻雀繁殖，巢位是相對均勻分散，牠們會在孤立的樹木和林地繁殖，也會在建築區繁殖，而不像麻雀和家麻雀群聚在一起 (Summers-Smith

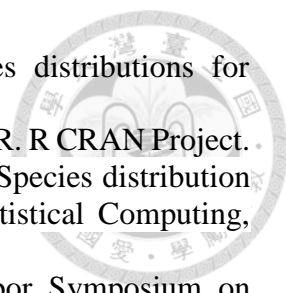
1988)。因此，山麻雀的分布和數量較少的其中一個因素，推測可能是山麻雀需要比較大的繁殖範圍，也沒辦法像麻雀一樣密集地聚集在人為建築區繁殖，瞭解山麻雀築巢地點的選擇與需求應有助於保育策略的執行。




參考文獻



- Araujo, M. B., and M. New. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution* 22:42-47.
- Booth, T. H., H. A. Nix, J. R. Busby, M. F. Hutchinson, and J. Franklin. 2014. Bioclim: the first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MaxEnt studies. *Diversity and Distributions* 20:1-9.
- Bourke, J., K. Busse, and W. Böhme. 2012. Searching for a lost frog (*Rhinoderma rufum*): identification of the most promising areas for future surveys and possible reasons of its enigmatic decline. *North-Western Journal of Zoology* 8:99-106.
- Clements, J. F., T. S. Schulenberg, M. J. Iliff, D. Roberson, T. A. Fredericks, B. L. Sullivan, and C. L. Wood. 2018. The eBird/Clements checklist of birds of the world: v2018.
- Boyce, M. S., P. R. Vernier, S. E. Nielsen, and F. K. Schmiegelow. 2002. Evaluating resource selection functions. *Ecological Modelling* 157:281-300.
- DeLeo, J. M. 1993. Receiver operating characteristic laboratory (ROCLAB): software for developing decision strategies that account for uncertainty. *Proceedings of the Second International Symposium on Uncertainty Modelling and Analysis*, Computer Society Press, College Park, 318–325.
- eBird. 2012. eBird: An online database of bird distribution and abundance. Version 2. eBird, Ithaca, New York. Available: <http://www.ebird.org>. (Accessed: 2019/7/20).
- Ehrlen, J., and W. F. Morris. 2015. Predicting changes in the distribution and abundance of species under environmental change. *Ecology Letters* 18:303-314.
- Elith, J., and J. R. Leathwick. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40:677-697.
- Fielding, A. H., and J. F. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24:38-49.
- Franklin, J. 2010. *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Cambridge University Press.
- Freeman, E. A., and G. Moisen. 2008. PresenceAbsence: An R Package for Presence Absence Analysis. *Journal of Statistical Software* 23:31.
- Gaston, K. J. 2003. *The structure and dynamics of geographic ranges*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Gilfedder, M., C. J. Robinson, J. E. M. Watson, T. G. Campbell, B. L. Sullivan, and H. P. Possingham. 2018. Brokering trust in citizen science. *Society & Natural Resources* 32:292-302.
- Gould, J. (1836) Characters of several new species of insessorial birds, including a new genus (*Stenorhynchus*). *Proceedings of Zoological Society of London* 3: 185–186.
- Grand, J., and S. A. Cushman. 2003. A multi-scale analysis of species-environment relationships: breeding birds in a pitch pine–scrub oak (*Pinus rigida*–*Quercus ilicifolia*) community. *Biological Conservation* 112:307-317.
- Guisan, A., and W. Thuiller. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8:993-1009.
- Guisan, A., R. Tingley, J. B. Baumgartner, I. Naujokaitis-Lewis, P. R. Sutcliffe, A. I. Tulloch, T. J. Regan, L. Brotons, E. McDonald-Madden, C. Mantyka-Pringle, T. G. Martin, J. R. Rhodes, R. Maggini, S. A. Setterfield, J. Elith, M. W. Schwartz, B. A. Wintle, O. Broennimann, M. Austin, S. Ferrier, M. R. Kearney, H. P.

- 
- Possingham, and Y. M. Buckley. 2013. Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters* 16:1424-1435.
- Hijmans, R. J., and J. Elith. 2013. Species distribution modeling with R. R CRAN Project.
- Hijmans, R. J., S. Phillips, J. Leathwick, and J. Elith. 2012. *dismo*: Species distribution modeling R package version 0.7-23. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://CRAN.R-project.org/package=dismo>
- Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology* 22:415-427.
- IUCN 2019. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-2. <http://www.iucnredlist.org>. Downloaded on 18 July 2019.
- Jaynes, E. T. 1957. Information theory and statistical mechanics. *Physical Review* 106:620-630.
- Johnston, A., W. M. Hochachka, M. E. Strimas-Mackey, V. R. Gutierrez, O. J. Robinson, E. T. Miller, T. Auer, S. T. Kelling, and D. Fink. 2019. Best practices for making reliable inferences from citizen science data: case study using eBird to estimate species distributions. *bioRxiv* 574392.
- Karger, D. N., O. Conrad, J. Böhner, T. Kawohl, H. Kreft, R. W. Soria-Auza, N. E. Zimmermann, H. P. Linder, and M. Kessler. 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data* 4:170122.
- Landis, J. R., and G. G. Koch. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33:159-174.
- Levin, S. A. 1992. The problem of pattern and scale in ecology: the Robert H. MacArthur award lecture. *Ecology* 73:1943-1967.
- MacArthur, R. H. 1972. *Geographical Ecology: Patterns in the Distribution of Species*. . Princeton University Press, New York.
- Manel, S., H. C. Williams, and S. J. Ormerod. 2001. Evaluating presence–absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology* 38:921-931.
- McKinley, D. C., A. J. Miller-Rushing, H. L. Ballard, R. Bonney, H. Brown, S. C. Cook-Patton, D. M. Evans, R. A. French, J. K. Parrish, T. B. Phillips, S. F. Ryan, L. A. Shanley, J. L. Shirk, K. F. Stepenuck, J. F. Weltzin, A. Wiggins, O. D. Boyle, R. D. Briggs, S. F. Chapin, D. A. Hewitt, P. W. Preuss, and M. A. Soukup. 2017. Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection. *Biological Conservation* 208:15-28.
- Mlíkovský, J. 2011. Correct name for the Asian Russet Sparrow. *Chinese Birds* 2:109-110.
- Nezer, O., S. Bar-David, T. Gueta, and Y. Carmel. 2016. High-resolution species-distribution model based on systematic sampling and indirect observations. *Biodiversity and Conservation* 26:421-437.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson, and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231-259.
- Ricklefs, R. E. 1987. Community diversity: relative roles of local and regional processes. *Science* 235:167-171.
- Robinson, O. J., V. Ruiz-Gutierrez, D. Fink, R. J. Meese, M. Holyoak, and E. G. Cooch. 2018. Using citizen science data in integrated population models to inform conservation. *Biological Conservation* 227:361-368.
- Royle, J. A., R. B. Chandler, C. Yackulic, and J. D. Nichols. 2012. Likelihood analysis of species occurrence probability from presence-only data for modelling species distributions. *Methods in Ecology and Evolution* 3:545-554.

- Šálek, M., J. Riegert, and S. Grill. 2015. House Sparrows *Passer domesticus* and Tree Sparrows *Passer montanus*: fine-scale distribution, population densities, and habitat selection in a Central European city. *Acta Ornithologica* 50:221-232.
- Soberon, J., and A. T. Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2:1-10.
- Stockwell, D. 1999. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science* 13:143-158.
- Stockwell, D. R. B., and I. R. Noble. 1992. Induction of sets of rules from animal distribution data. *Mathematics and Computers in Simulation* 33:385-390.
- Sullivan, B. L., J. L. Aycrigg, J. H. Barry, R. E. Bonney, N. Bruns, C. B. Cooper, T. Damoulas, A. A. Dhondt, T. Dietterich, A. Farnsworth, D. Fink, J. W. Fitzpatrick, T. Fredericks, J. Gerbracht, C. Gomes, W. M. Hochachka, M. J. Iliff, C. Lagoze, F. A. La Sorte, M. Merrifield, W. Morris, T. B. Phillips, M. Reynolds, A. D. Rodewald, K. V. Rosenberg, N. M. Trautmann, A. Wiggins, D. W. Winkler, W.-K. Wong, C. L. Wood, J. Yu, and S. Kelling. 2014. The eBird enterprise: An integrated approach to development and application of citizen science. *Biological Conservation* 169:31-40.
- Sullivan, B. L., C. L. Wood, M. J. Iliff, R. E. Bonney, D. Fink, and S. Kelling. 2009. eBird: A citizen-based bird observation network in the biological sciences. *Biological Conservation* 142:2282-2292.
- Summers-Smith, J. 1988. *The Sparrows: A study of the genus Passer*. T & AD Poyser, Staffordshire, England.
- Thrush, S. F., J. E. Hewitt, P. M. J. Herman, and T. Ysebaert. 2005. Multi-scale analysis of species–environment relationships. *Marine Ecology Progress Series* 302:13-26.
- Tuanmu, M.-N., and W. Jetz. 2014. A global 1-km consensus land-cover product for biodiversity and ecosystem modelling. *Global Ecology and Biogeography* 23:1031-1045.
- Wisz, M. S., J. Pottier, W. D. Kissling, L. Pellissier, J. Lenoir, C. F. Damgaard, C. F. Dormann, M. C. Forchhammer, J. A. Grytnes, A. Guisan, R. K. Heikkinen, T. T. Hoye, I. Kuhn, M. Luoto, L. Maiorano, M. C. Nilsson, S. Normand, E. Ockinger, N. M. Schmidt, M. Termansen, A. Timmermann, D. A. Wardle, P. Aastrup, and J. C. Svenning. 2013. The role of biotic interactions in shaping distributions and realised assemblages of species: implications for species distribution modelling. *Biological Reviews* 88:15-30.
- 方偉宏。2004。臺灣受脅鳥種。中華民國野鳥學會，臺北市。
- 王李廉。2015。山麻雀非繁殖期的食物。臺灣溼地雜誌 1: 36-39。
- 王龍兒。2013。屏東霧台與神山社區鳥類資源調查之行動研究。碩士論文，國立屏東教育大學，屏東市。
- 林務局。2019。保育類野生動物名錄。行政院農業委員會林務局，臺北市。
- 吳采諭。2012。臺灣繁殖鳥類之空間分布，保護區涵蓋及熱點分析。博士論文，國立臺灣大學，臺北市。
- 呂佳家、劉奕炘、吳采諭、林瑞興、蔡若詩。2018。叮咚~查水表！2017 全台山麻雀大調查。2018 年動物行為與生態研討會摘要集。
- 李文玉。2011。八色鳥潛在繁殖地與度冬地分布預測。碩士論文，國立臺灣大學，臺北市。
- 沙謙中。1986。忽影悠鳴隱山林。玉山國家公園管理處，南投縣。

- 
- 林雅雯。2018。環境因子對山麻雀 (*Passer rutilans*) 巢位選擇及繁殖成敗的影響。碩士論文，國立嘉義大學，嘉義市。
- 張萬福。1980。臺灣鳥類彩色圖鑑 A field guide to the birds of Taiwan。禽影圖書有限公司，臺中市。
- 溫唯佳和蔡若詩。2015。瀕危的神秘鳥—山麻雀在臺灣分布的時空變化。臺灣濕地雜誌 1:8-11。
- 廖晟宏。2016。使用占據模型探討棲地對山麻雀 (*Passer rutilans*) 分布的影響。碩士論文，國立嘉義大學，嘉義市。
- 翟鵬。1977。台灣鳥類生態隔離的研究。碩士論文，東海大學，臺中市。
- 劉小如、丁宗蘇、方偉宏、林文宏、蔡牧起、顏重威。2012。臺灣鳥類誌(下)，第二版。行政院農業委員會林務局，臺北市。
- 盧冠安。2004。台灣山麻雀的分布模式與棲地選擇。碩士論文，國立臺灣大學，臺北市。
- 羅時有、王燕、沈君梁。1990。山麻雀的生態研究。四川動物 9: 23-26。

圖



趙偉凱 攝



趙偉凱 攝

圖 1、研究物種：山麻雀 (*Passer cinnamomeus*)，左圖為雄鳥，右圖為雌鳥

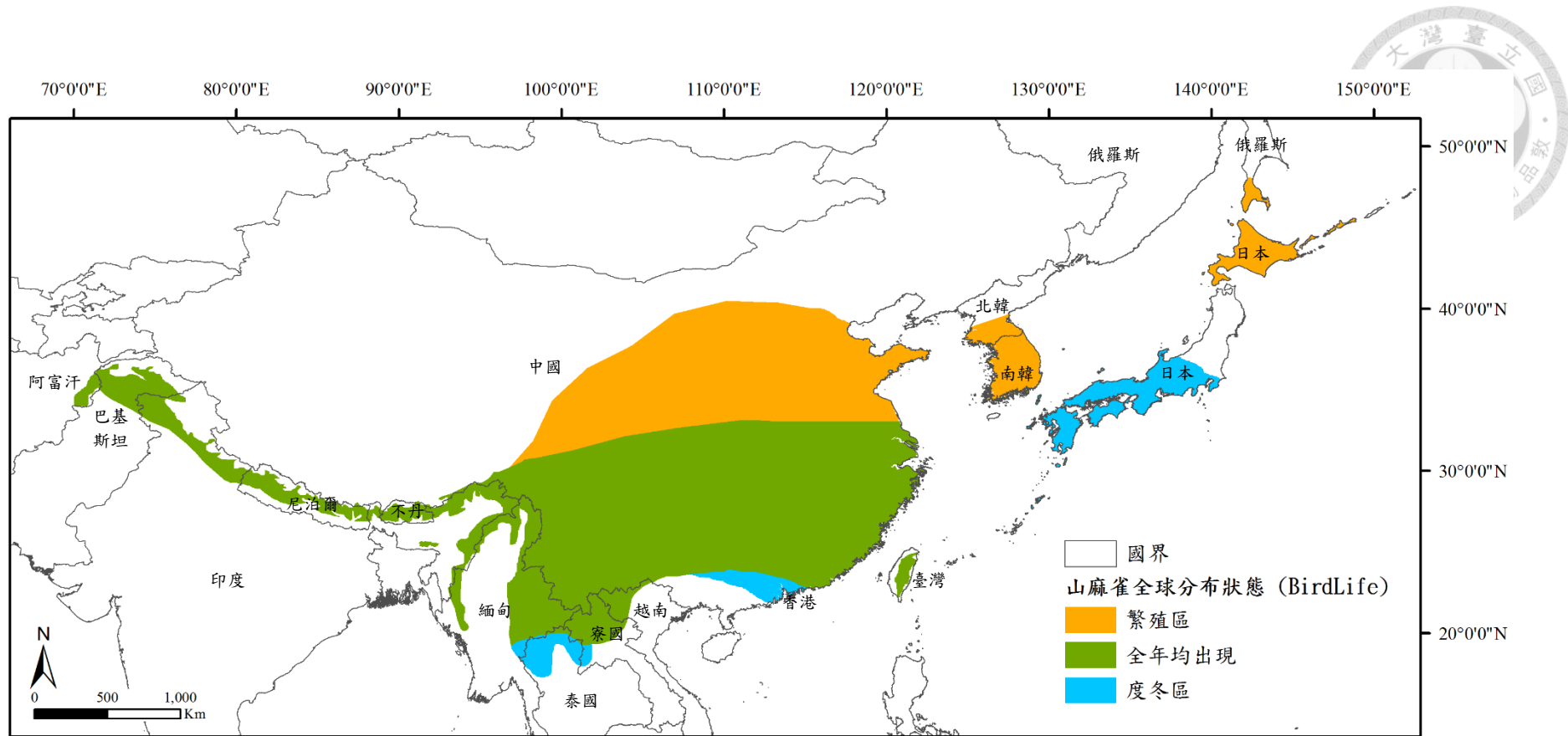


圖 2、山麻雀全球分布範圍圖 (BirdLife International 2017)

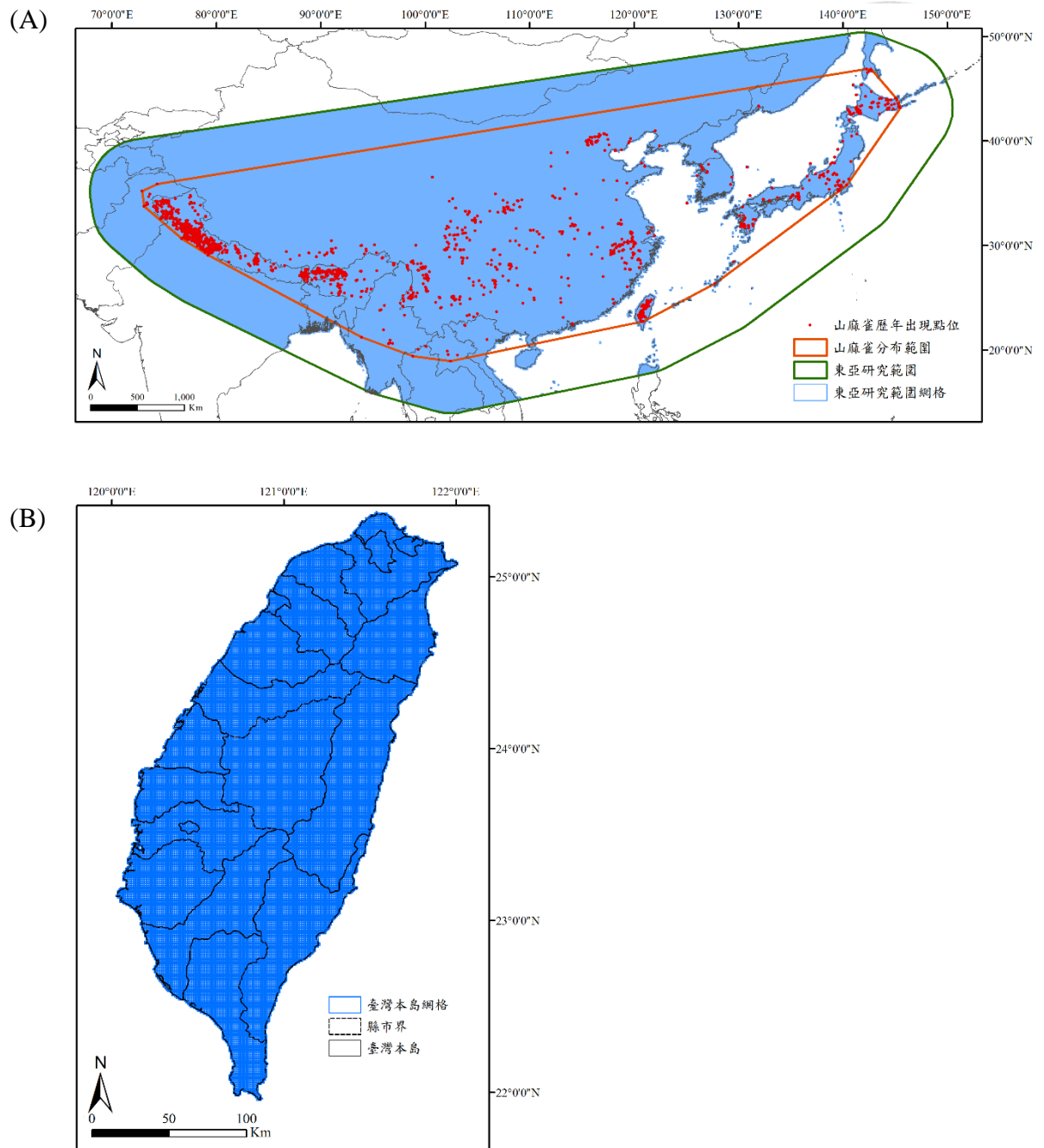


圖 3、研究範圍：(A) 東亞尺度(136993 個網格)、(B) 臺灣尺度(46787 個網格)

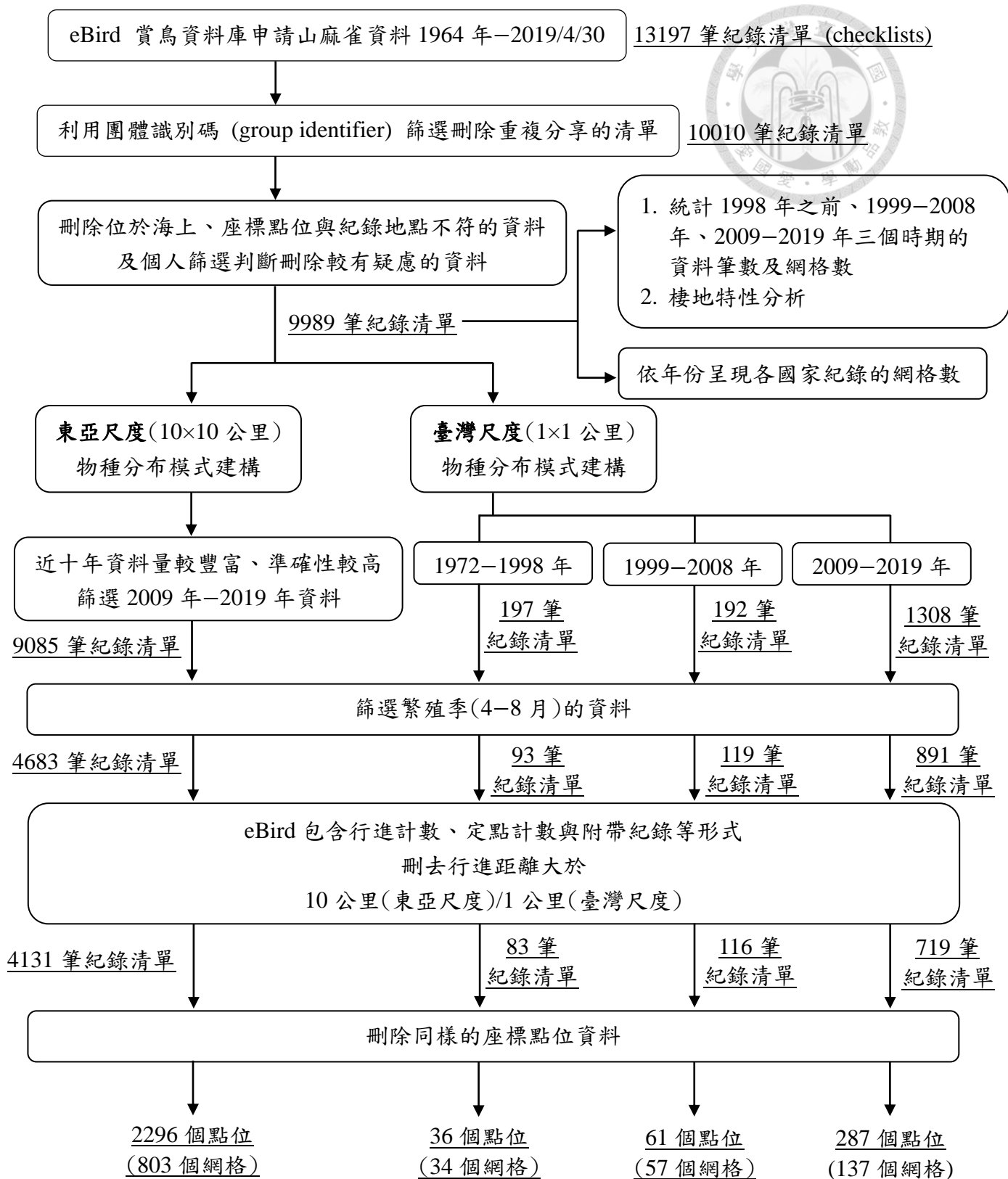


圖 4、物種資料處理流程圖

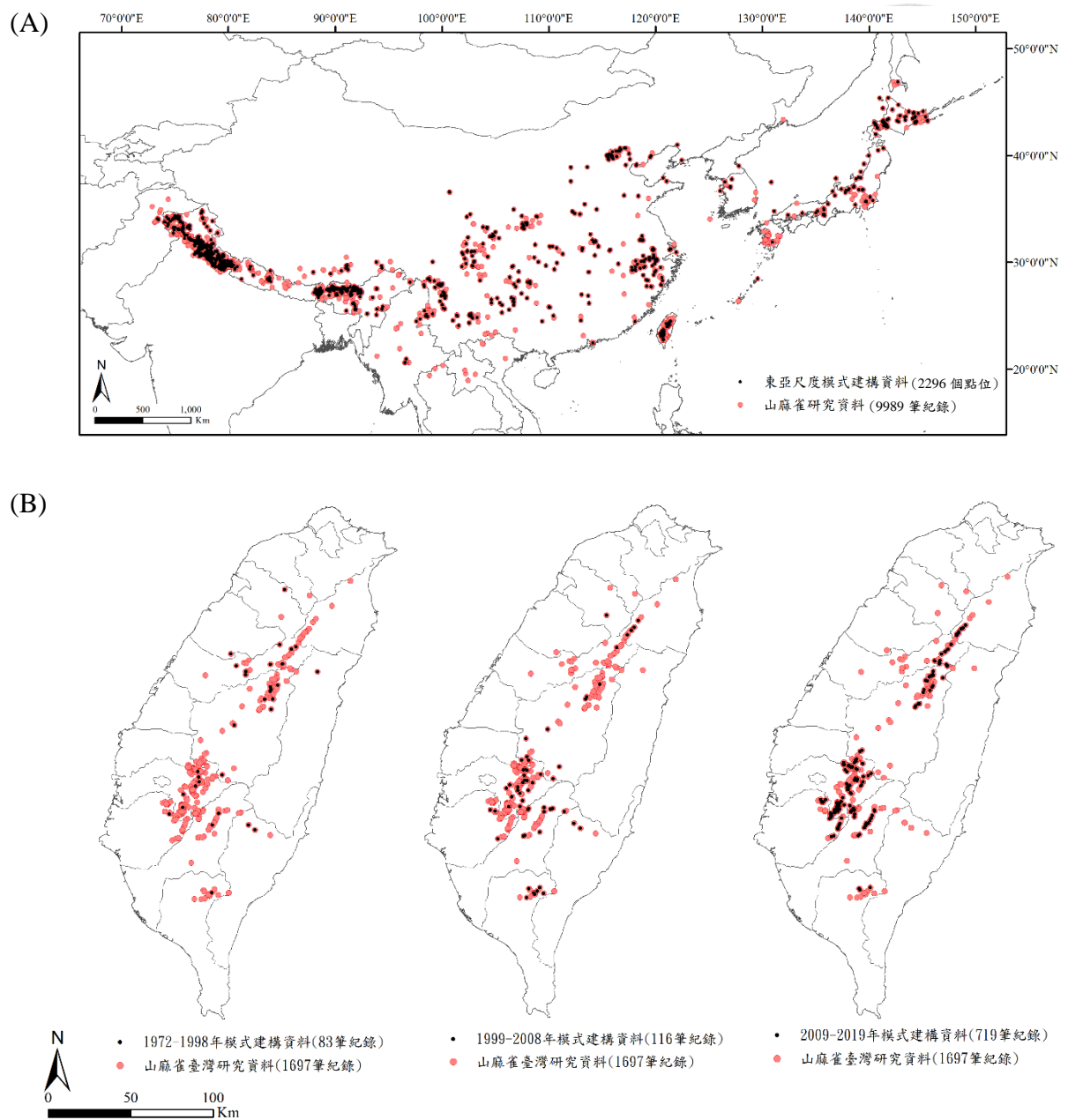


圖 5、山麻雀研究資料與模式建構資料分布圖：(A) 東亞尺度、(B) 臺灣尺度

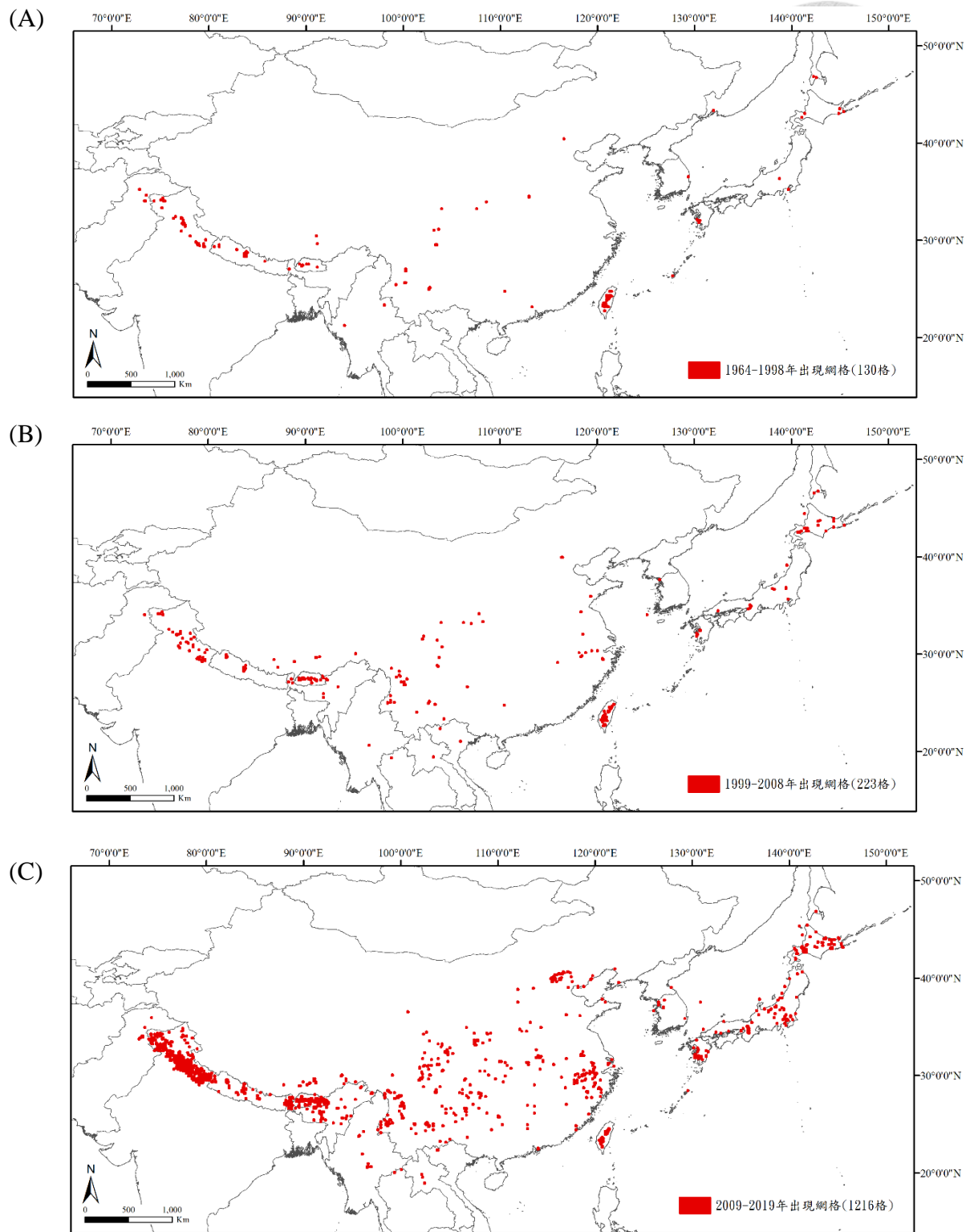


圖 6、山麻雀在東亞出現網格分布圖：(A) 1964-1998 年、(B) 1999-2008 年、(C) 2009-2019 年

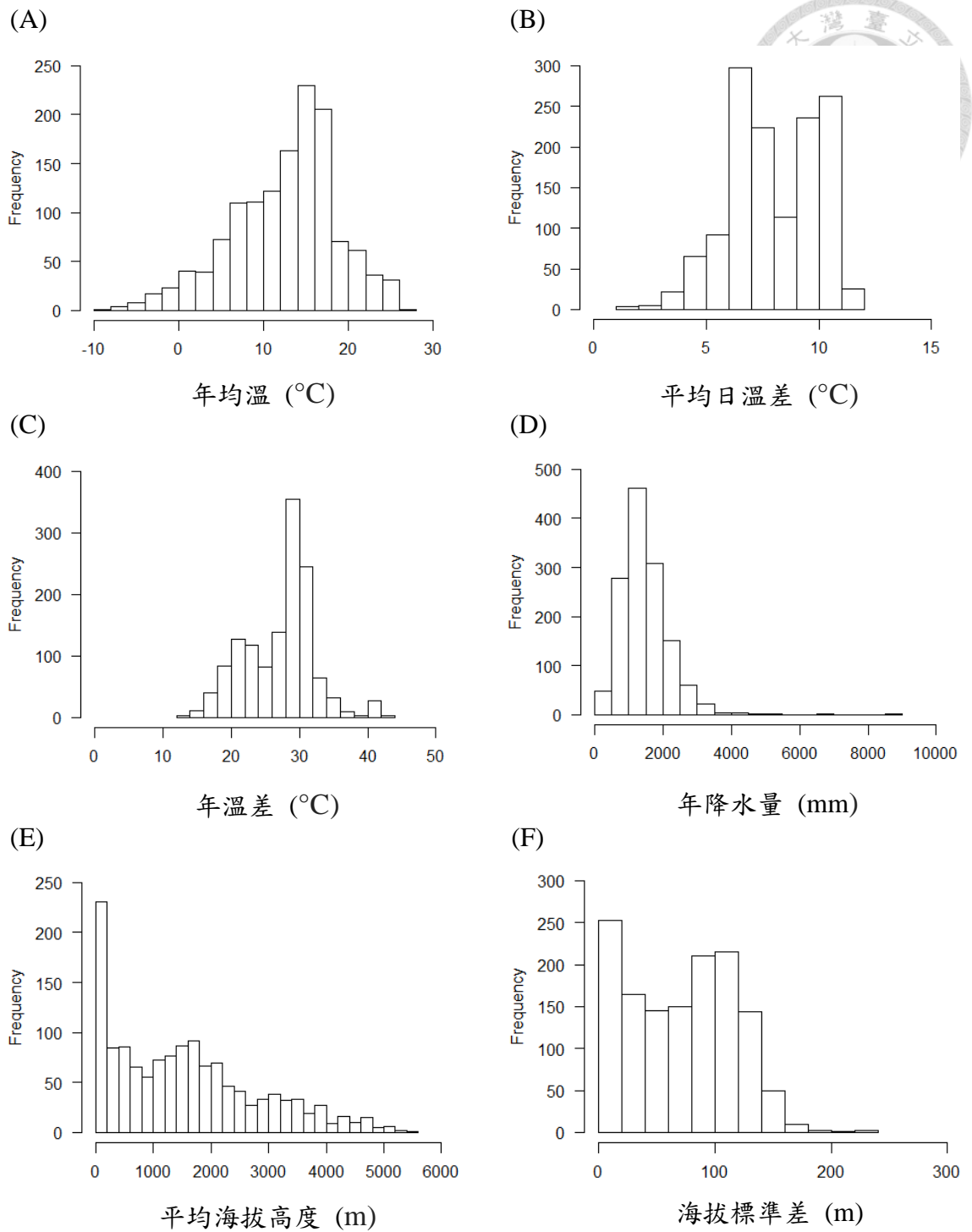


圖 7、山麻雀東亞尺度現有分布網格 (n=1346) 特性：(A) 年均溫、(B) 平均日溫差、(C) 年溫差、(D) 年降水量、(E) 平均海拔高度、(F) 海拔標準差

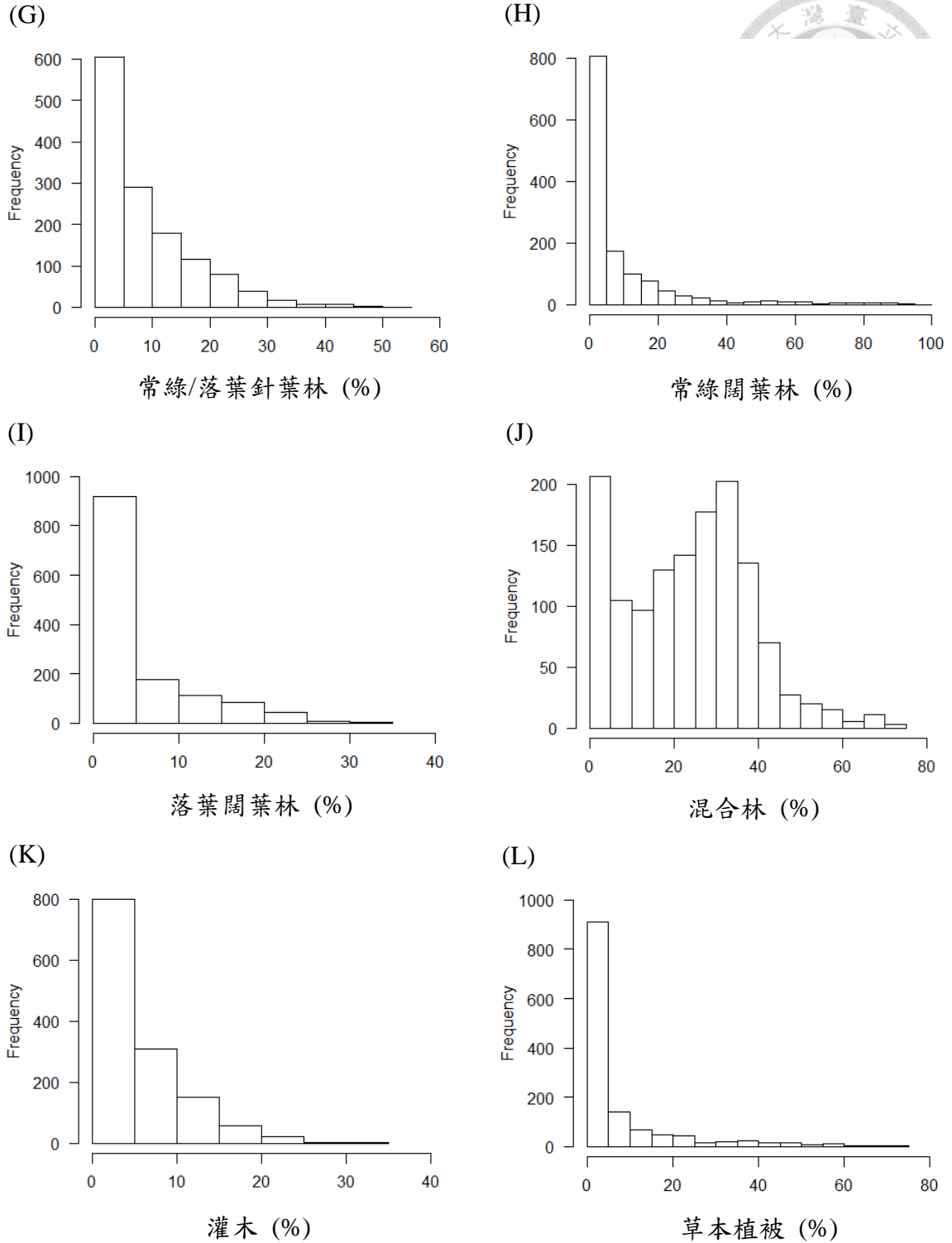


圖 8、山麻雀東亞尺度現有分布網格 (n=1346) 特性(續): (G) 常綠/落葉針葉林、(H) 常綠闊葉林、(I) 落葉闊葉林、(J) 混合林、(K) 灌木、(L) 草本植被

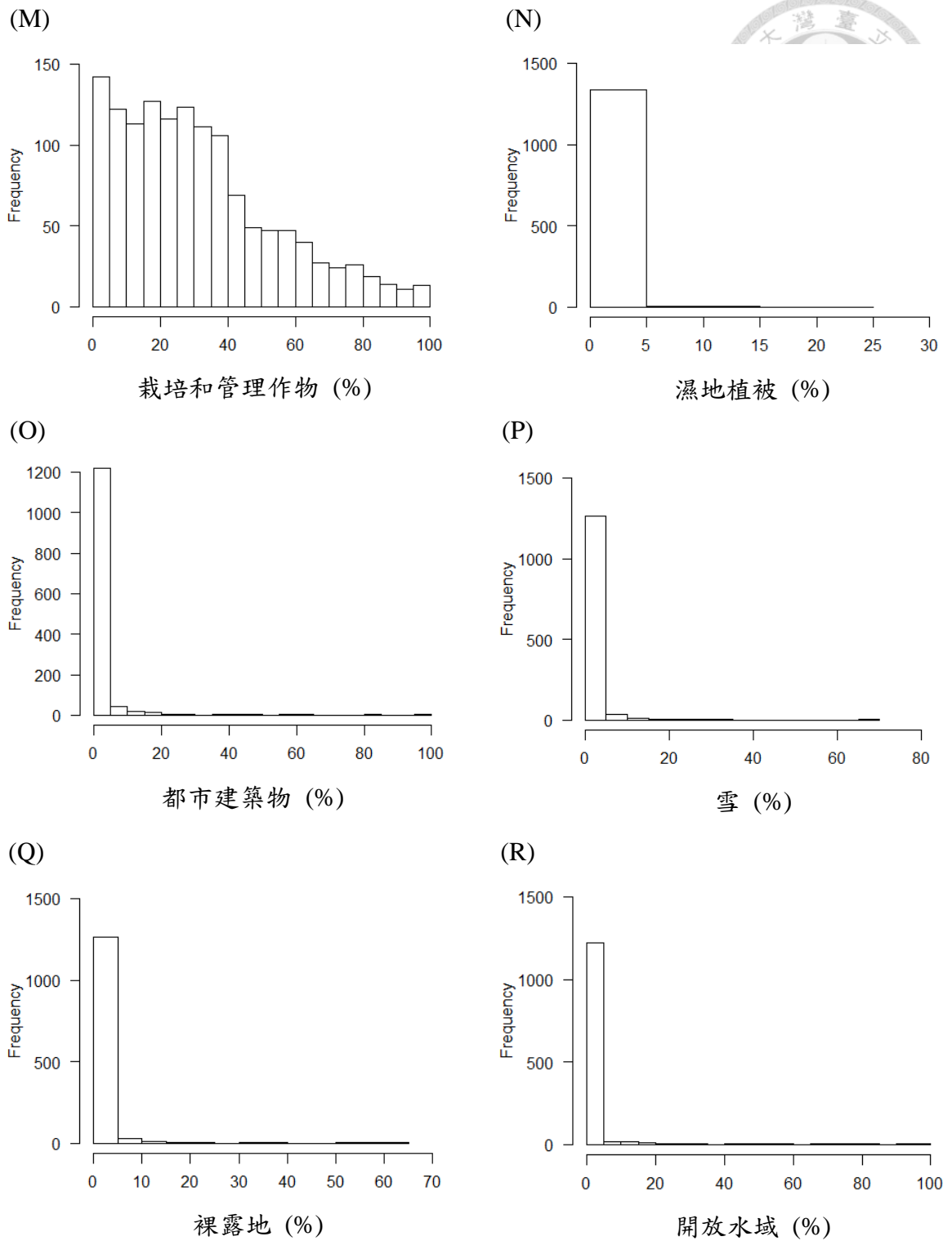


圖 9、山麻雀東亞尺度現有分布網格 (n=1346) 特性(續): (M) 栽培和管理作物、(N) 濕地植被、(O) 都市建築物、(P) 雪、(Q) 裸露地、(R) 開放水域

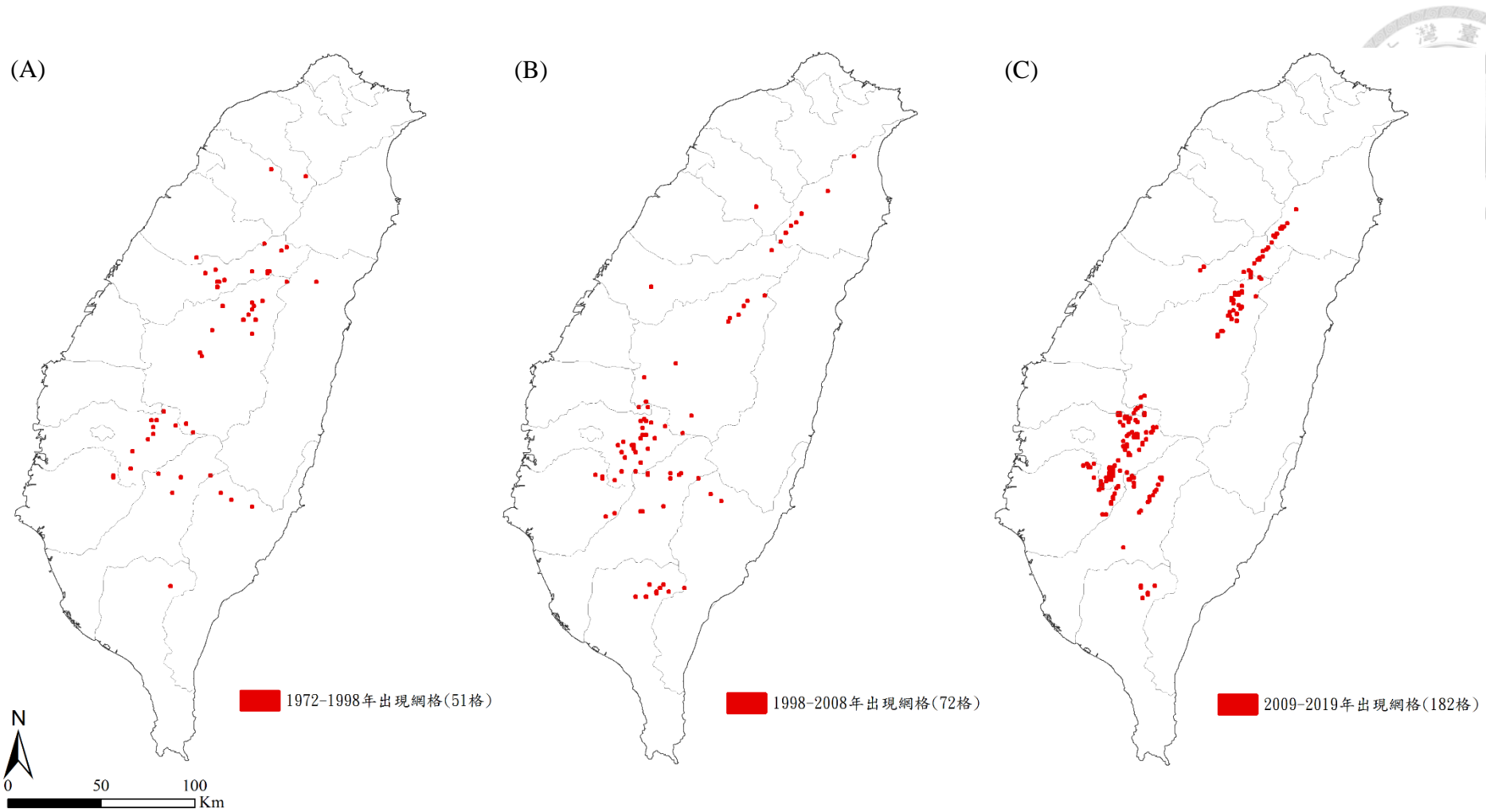


圖 10、山麻雀在臺灣出現網格分布圖：(A) 1972-1998 年、(B) 1999-2008 年、(C) 2009-2019 年

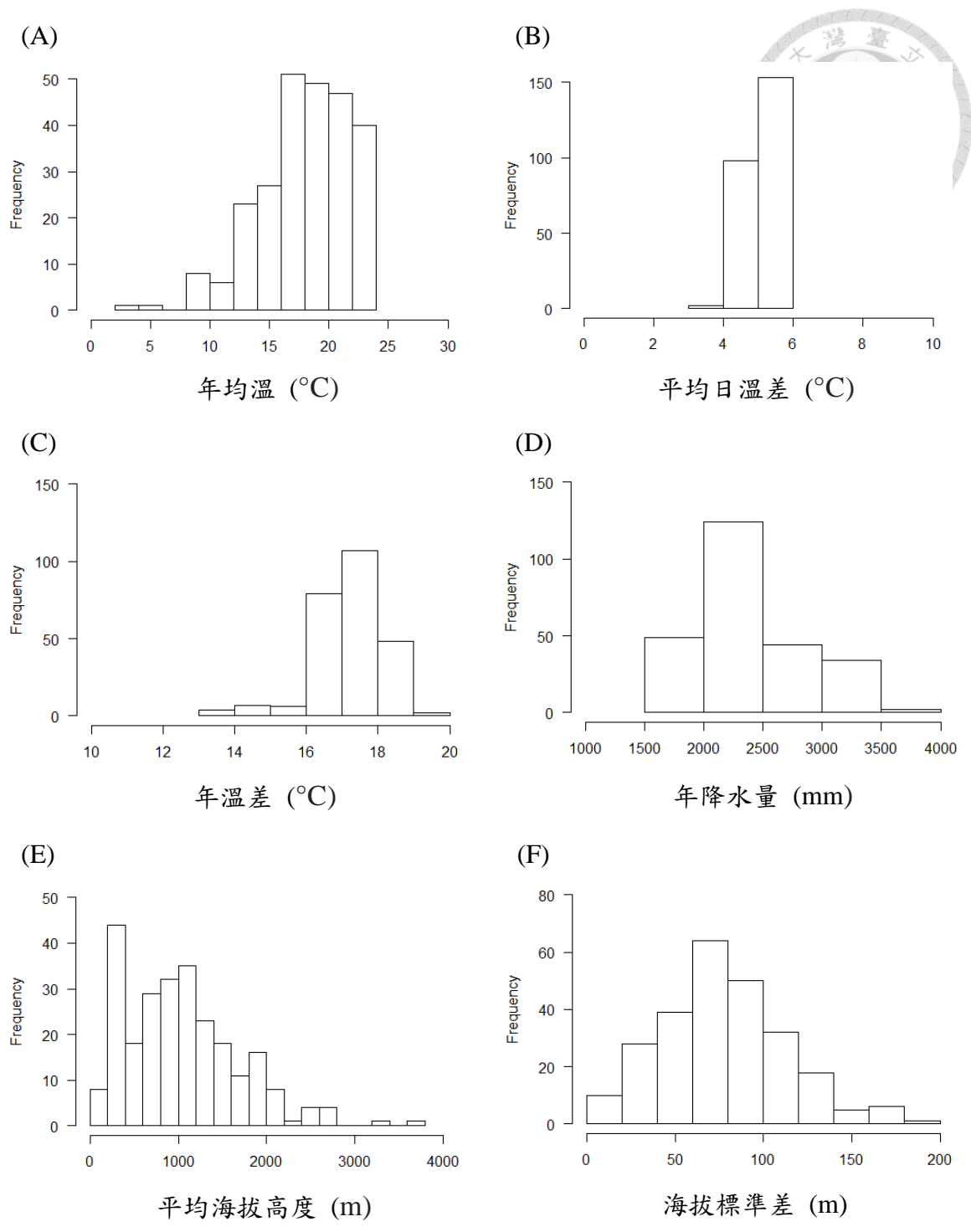


圖 11、山麻雀臺灣尺度現有分布網格 (n=253) 特性：(A) 年均溫、(B) 平均日溫差、(C) 年溫差、(D) 年降水量、(E) 平均海拔高度、(F) 海拔標準差

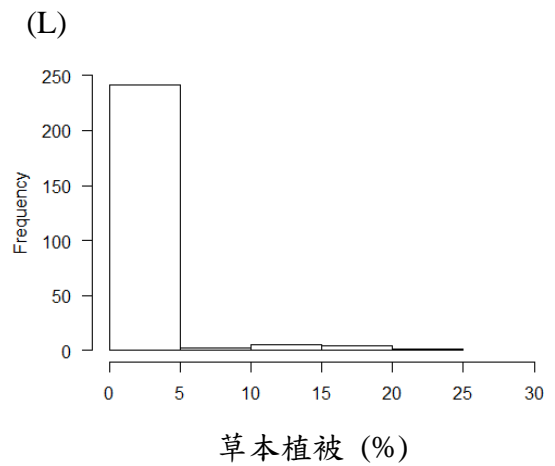
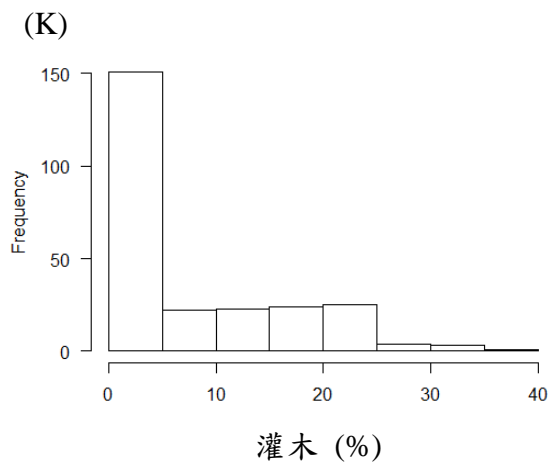
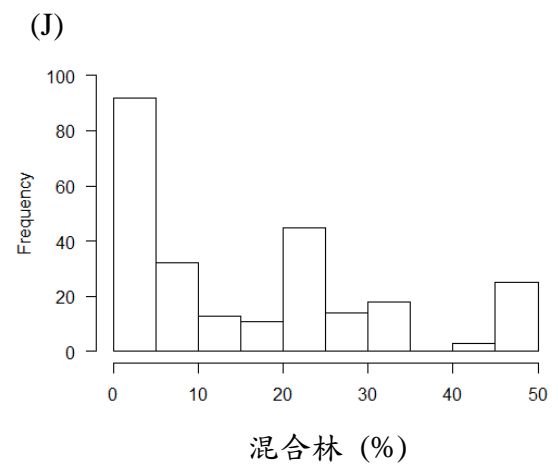
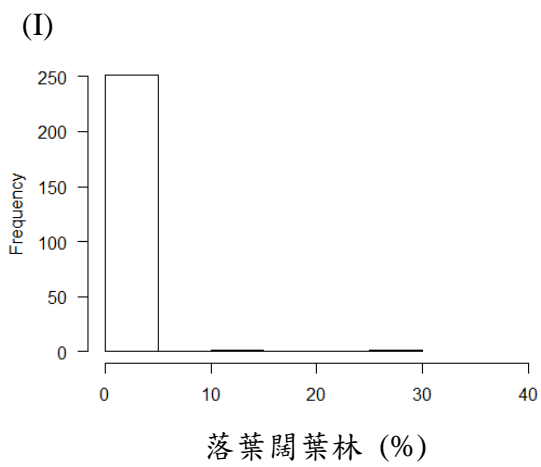
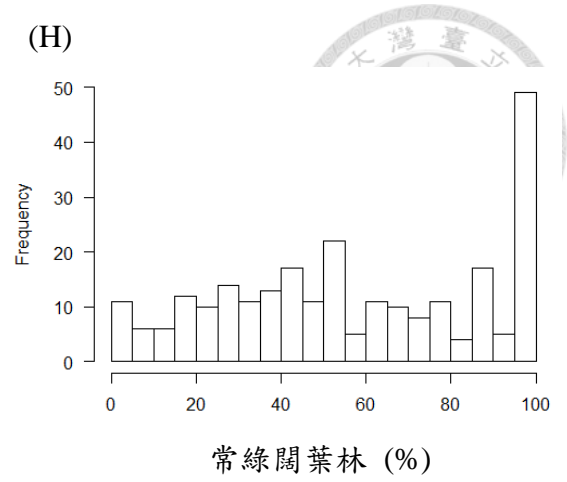
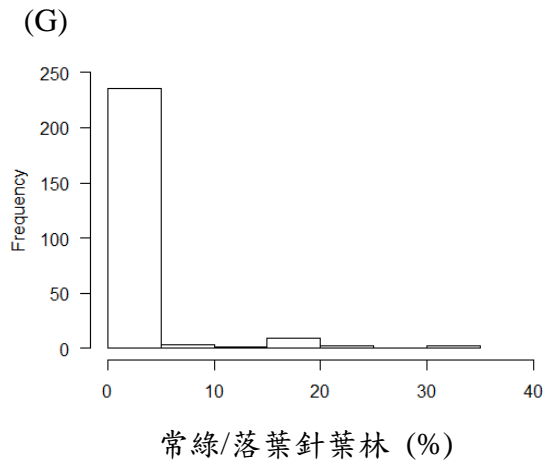


圖 12、山麻雀臺灣尺度現有分布網格 (n=253) 特性(續): (G) 常綠/落葉針葉林、(H) 常綠闊葉林、(I) 落葉闊葉林、(J) 混合林、(K) 灌木、(L) 草本植被

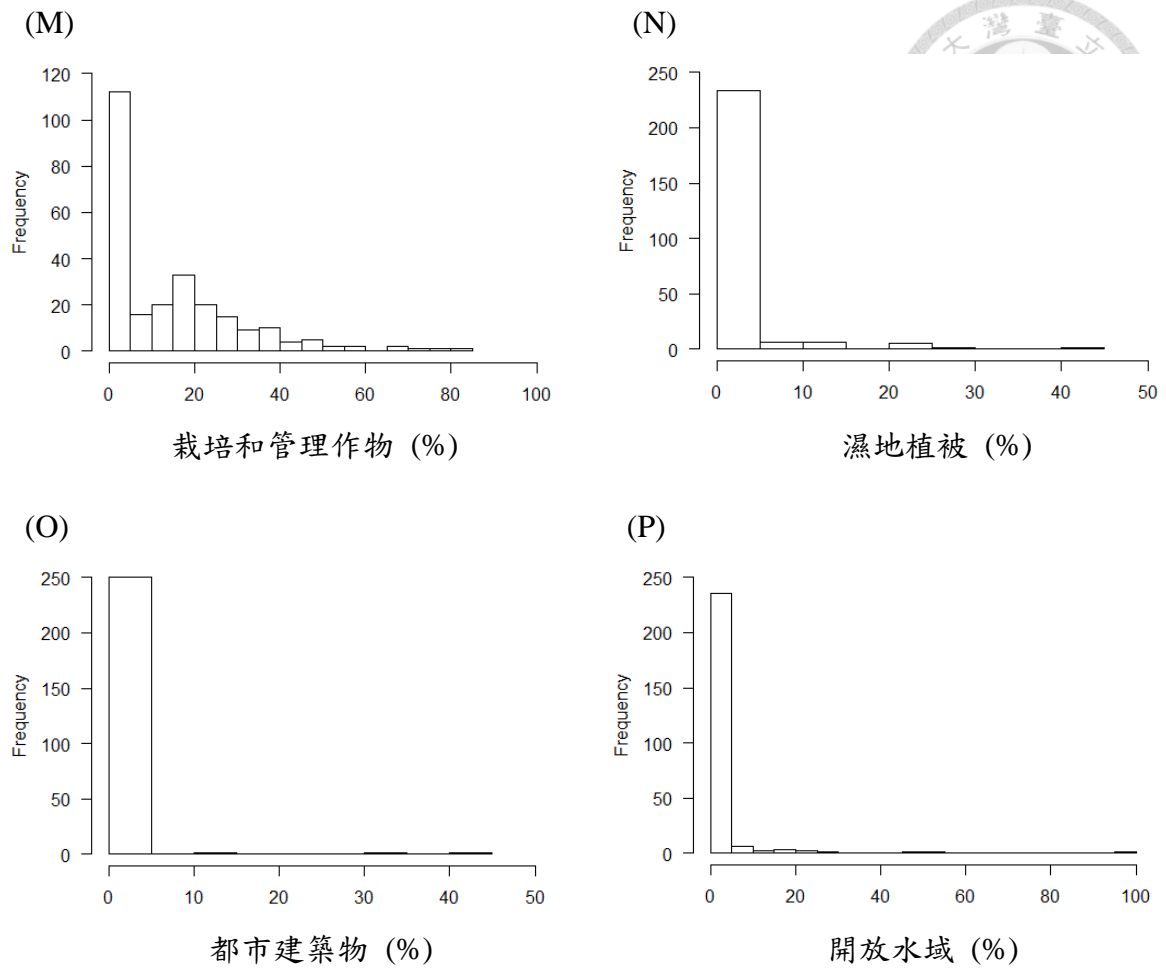


圖 13、山麻雀臺灣尺度現有分布網格 (n=253) 特性(續):(M) 栽培和管理作物、(N) 濕地植被、(O) 都市建築物、(P) 開放水域

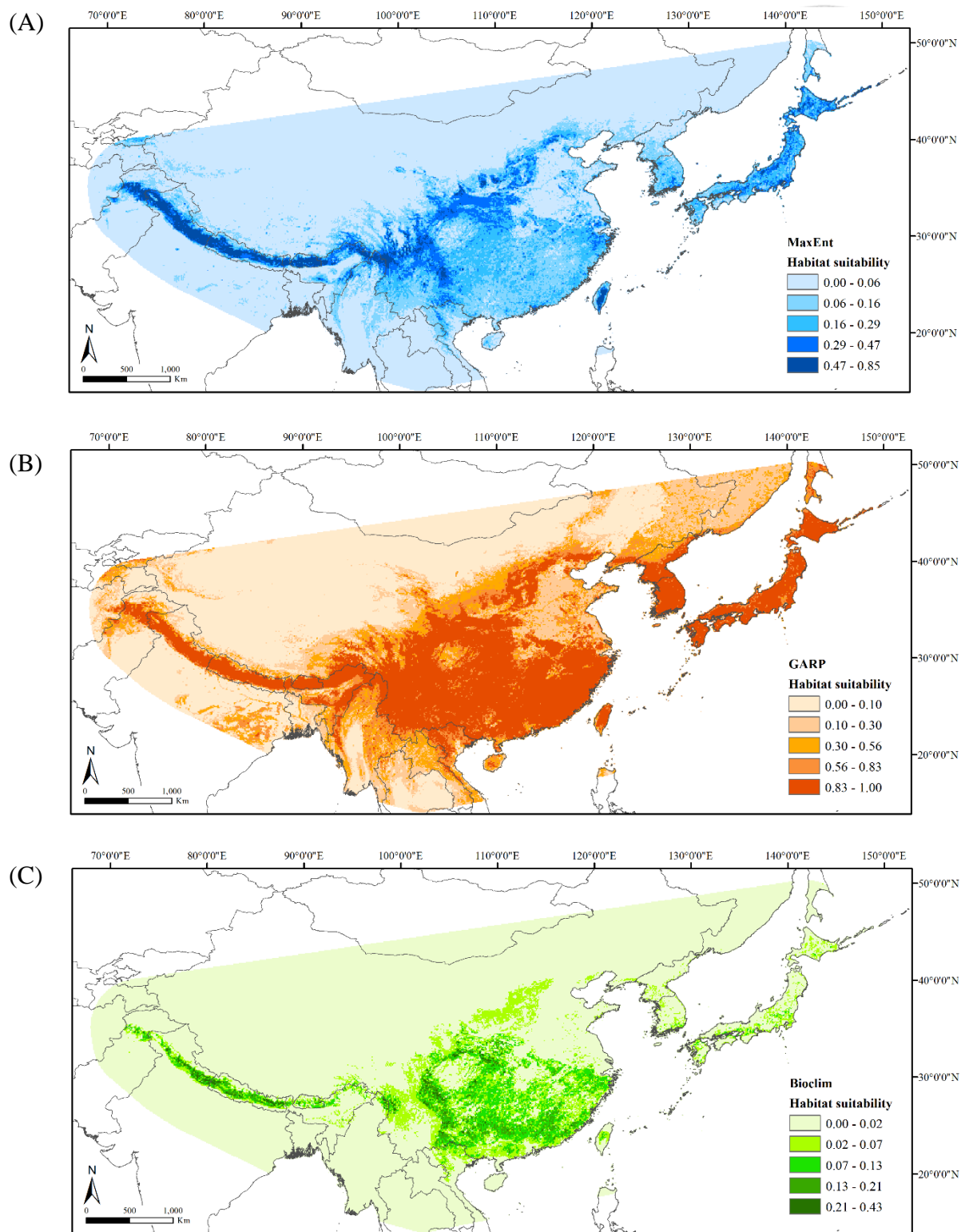


圖 14、東亞尺度 2009 年–2019 年潛在棲地預測分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、
(C) Bioclim

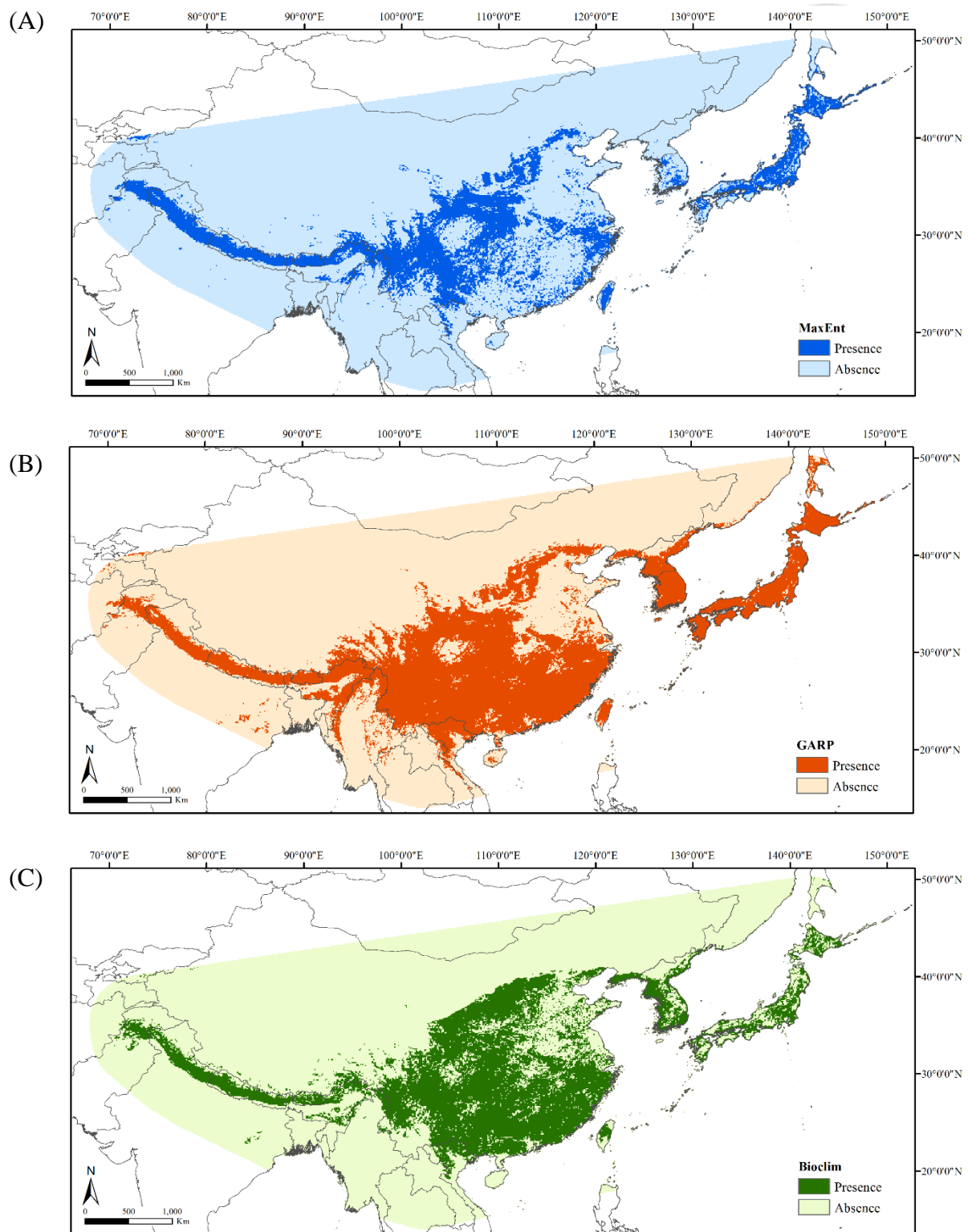


圖 15、東亞尺度 2009 年–2019 年棲地二元分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、
(C) Bioclim

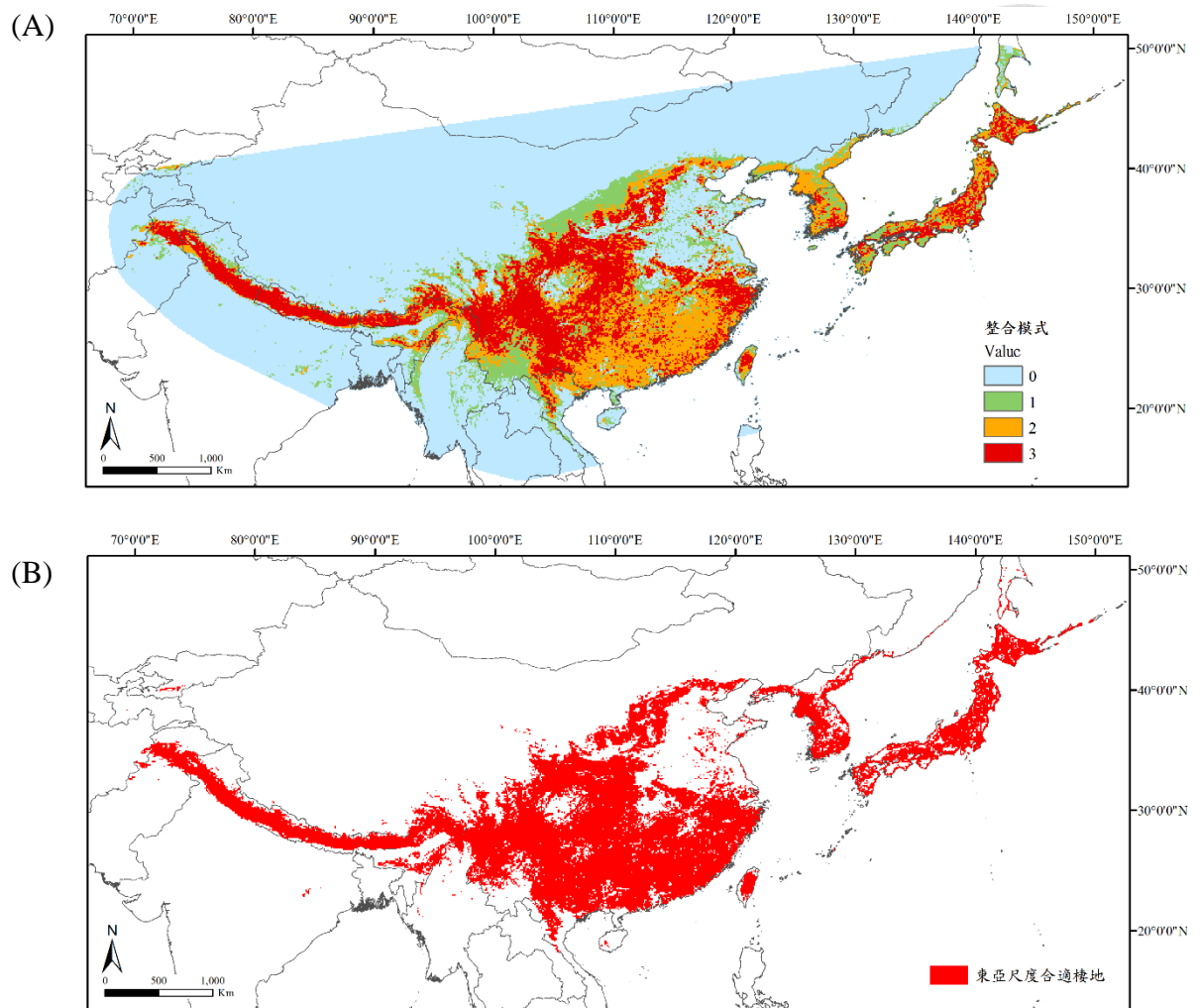


圖 16、東亞尺度整合模式預測結果：(A) 三種模式的棲地二元分布圖疊合、(B) 合適棲地(兩個以上的模式預測為出現的網格)

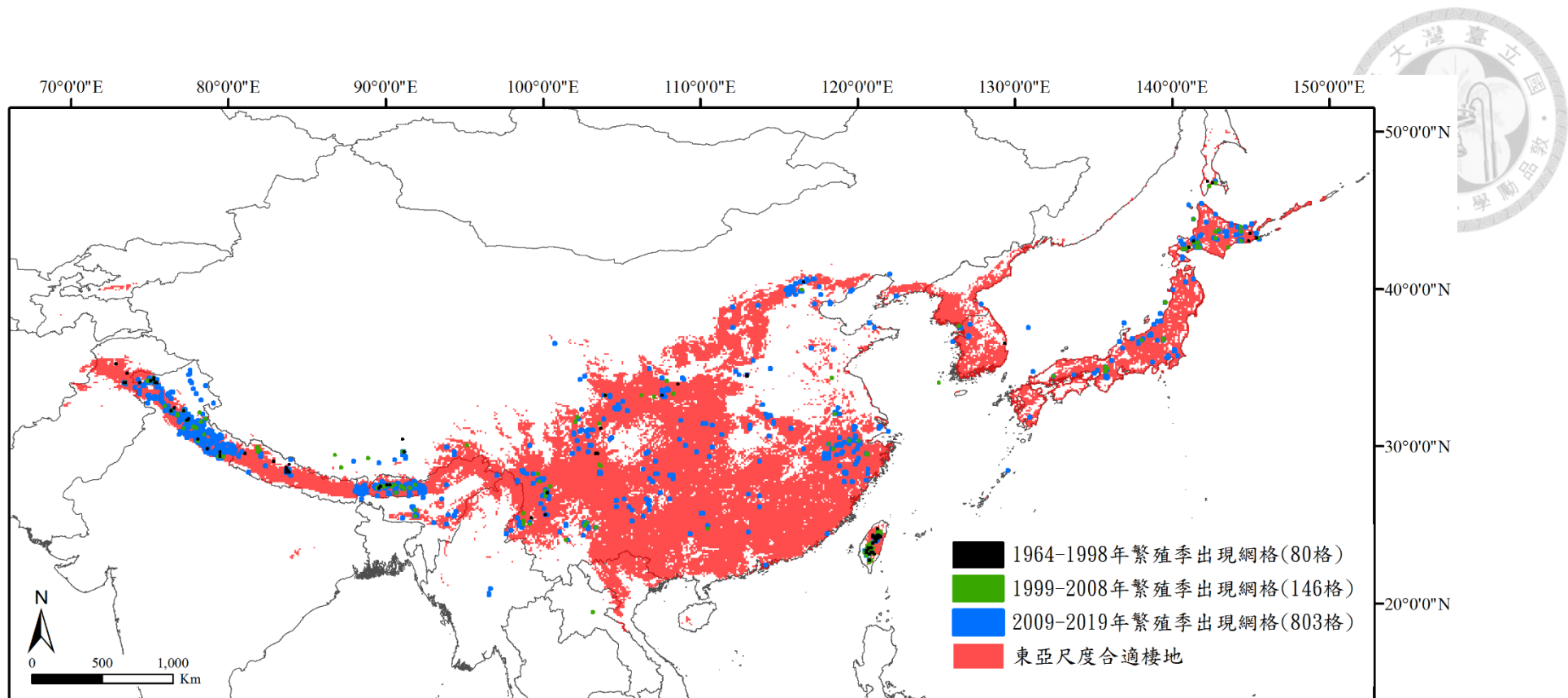


圖 17、東亞尺度合適棲地與山麻雀歷年繁殖季出現網格比較

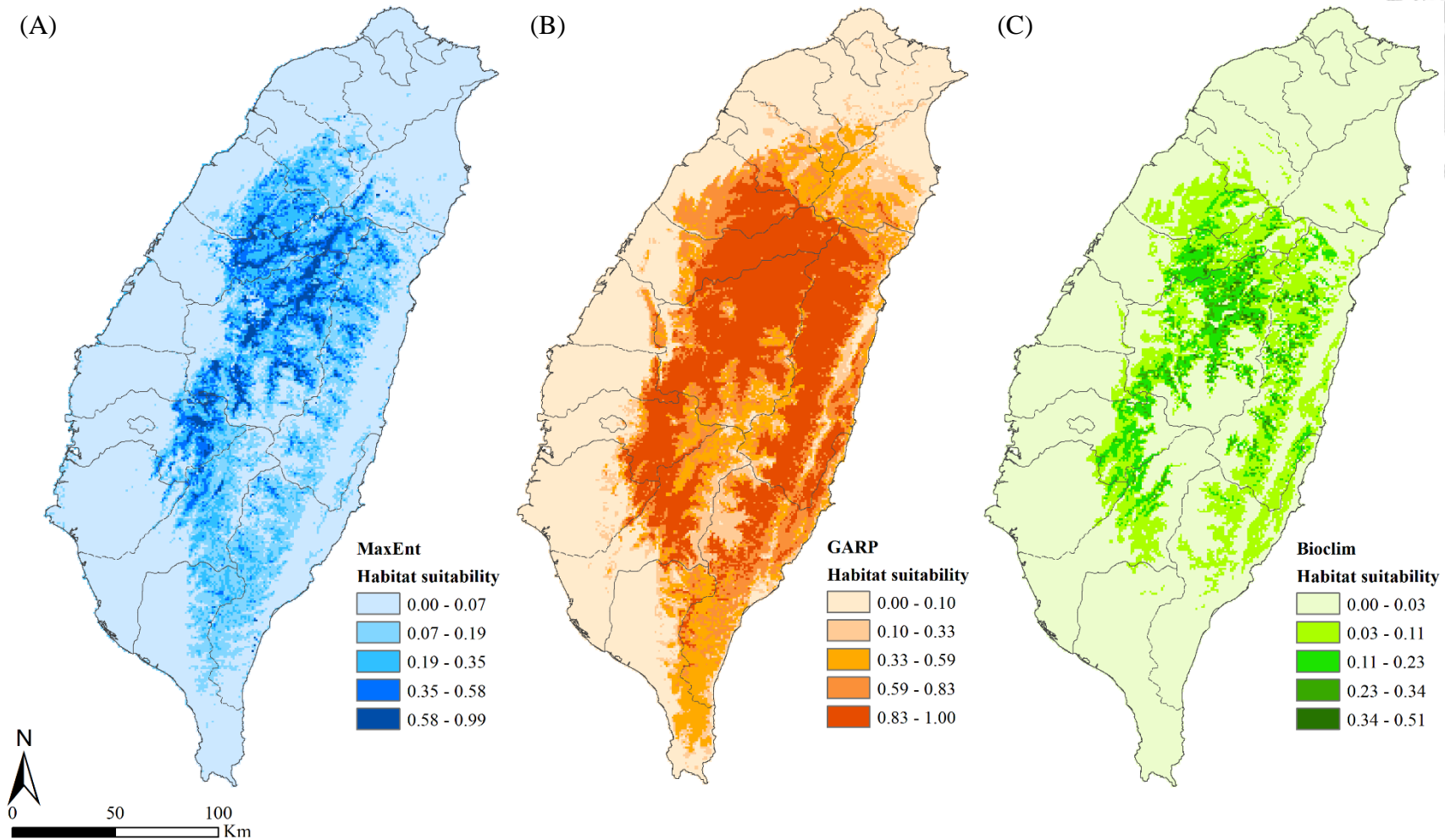


圖 18、臺灣尺度 1972-1998 年潛在棲地預測分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、(C) Bioclim

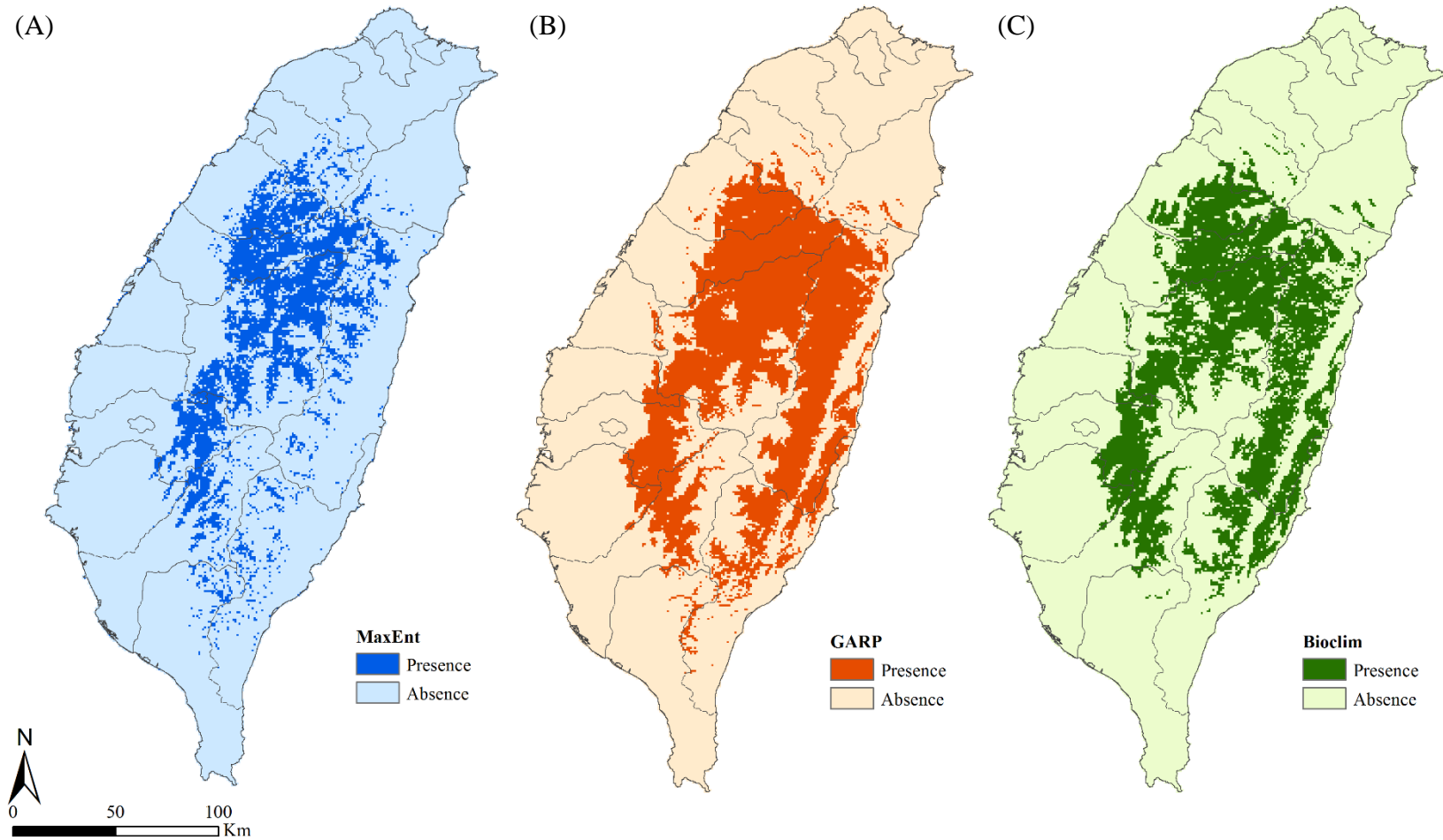


圖 19、臺灣尺度 1972–1998 年棲地二元分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、(C) Bioclim

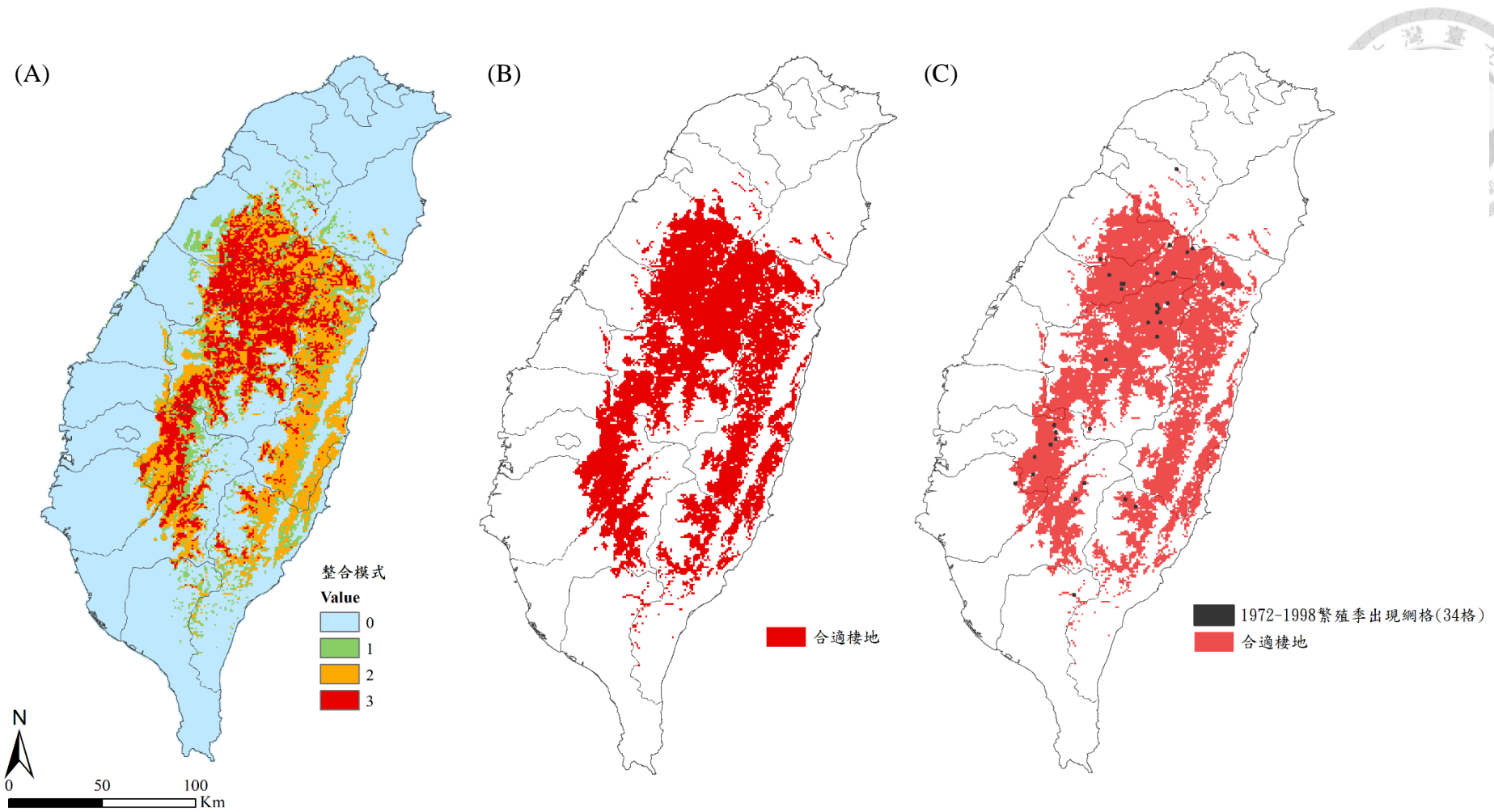


圖 20、臺灣尺度 1972–1998 年整合模式預測結果：(A) 三種模式的棲地二元分布圖疊合、(B) 合適棲地(兩個以上的模式預測為出現的網格)、(C) 與山麻雀 1972–1998 年繁殖季出現網格比較

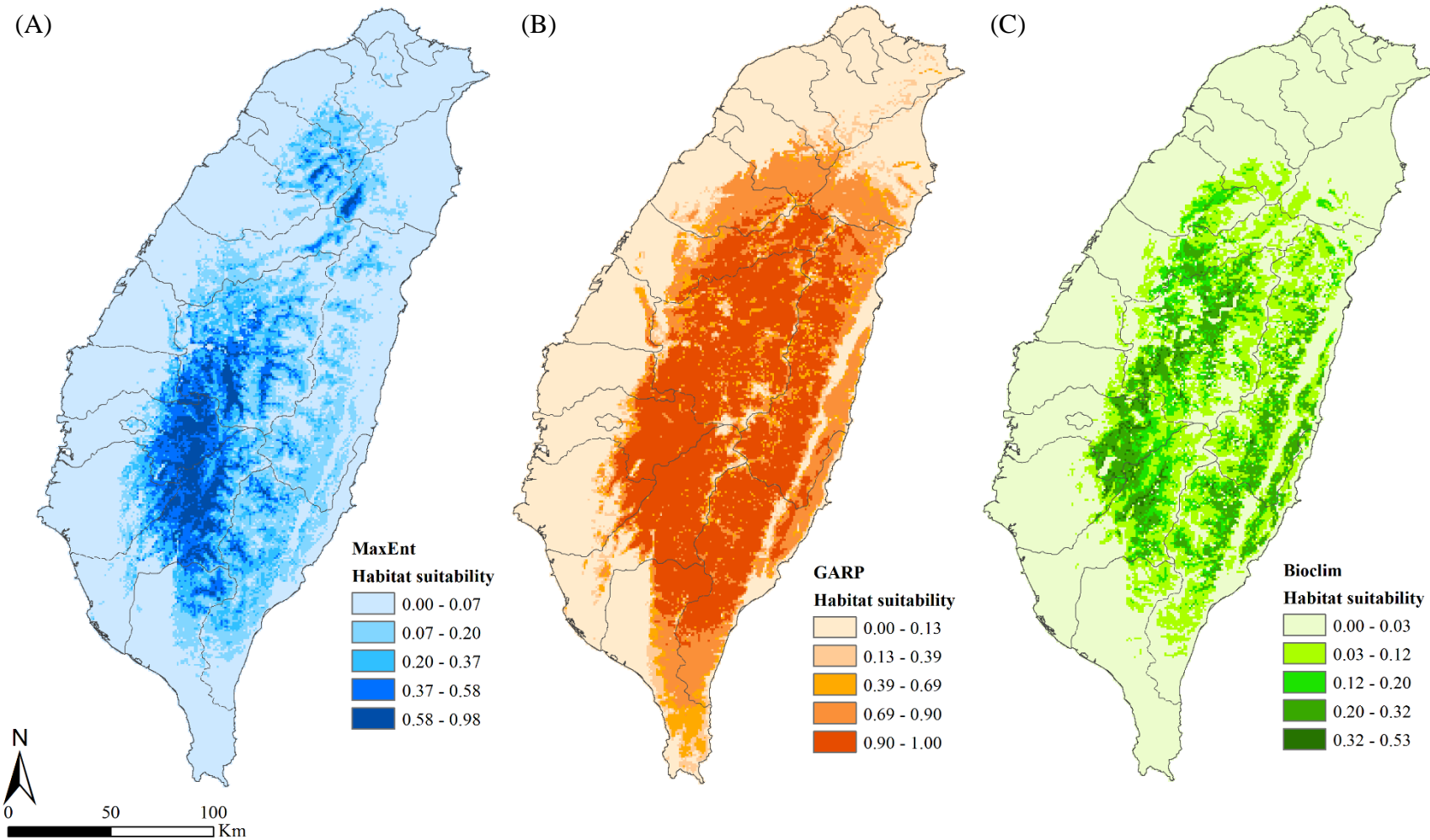


圖 21、臺灣尺度 1999–2008 年潛在棲地預測分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、(C) Bioclim

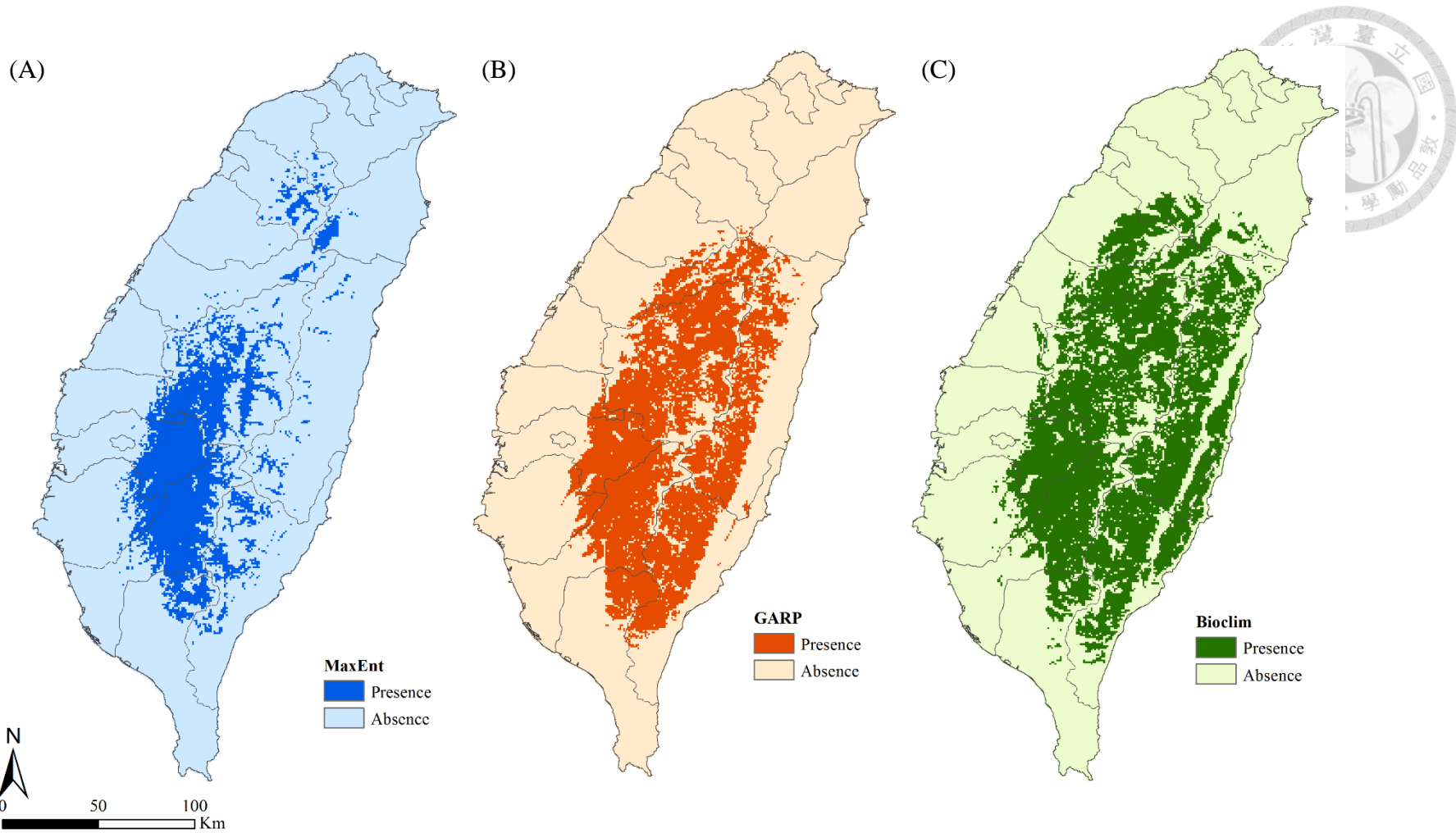


圖 22、臺灣尺度 1999–2008 年棲地二元分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、(C) Bioclim

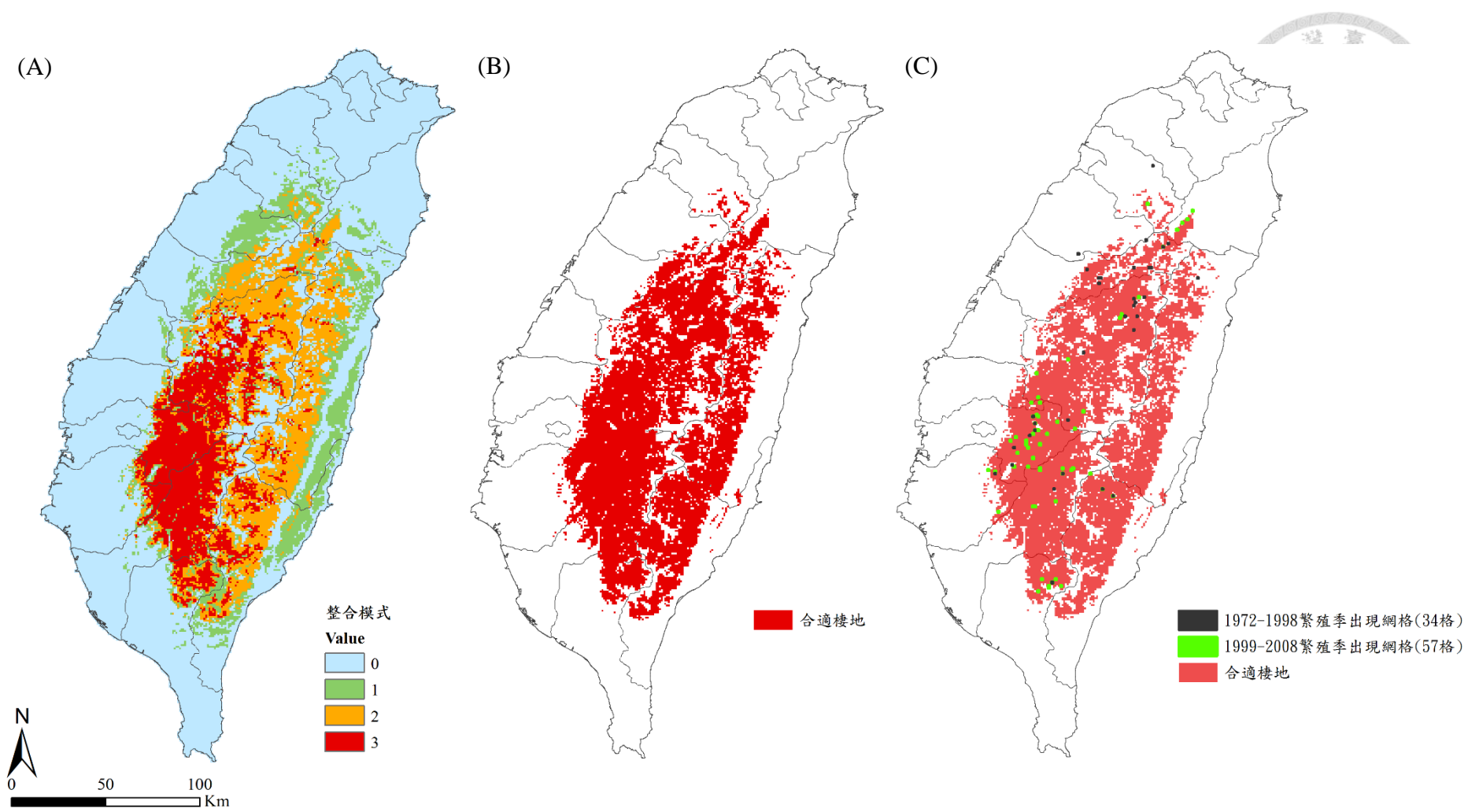


圖 23、臺灣尺度 1999-2008 年整合模式預測結果：(A) 三種模式的棲地二元分布圖疊合、(B) 合適棲地(兩個以上的模式預測為出現的網格)、(C) 與山麻雀 1972-2008 年繁殖季出現網格比較

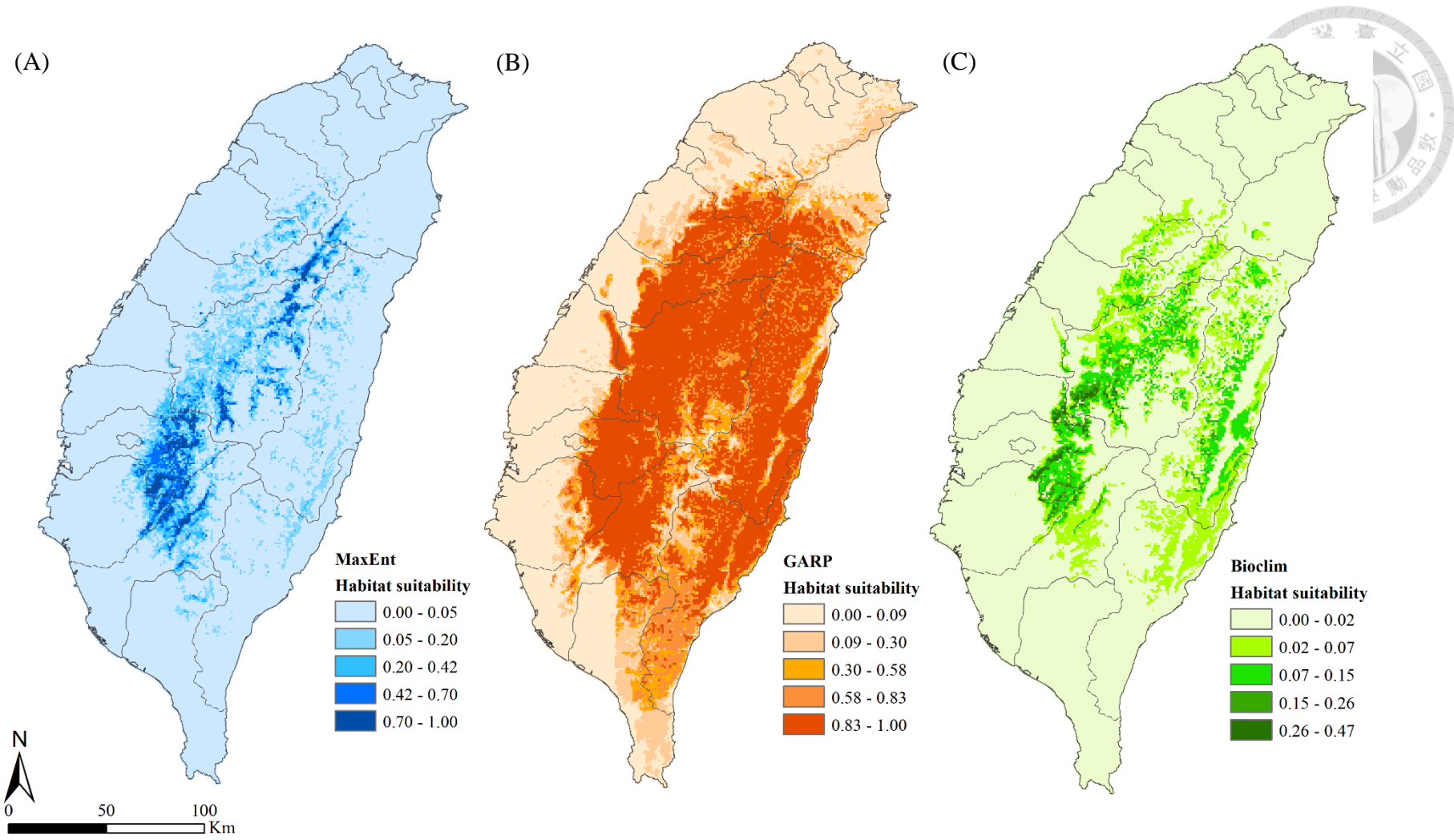


圖 24、臺灣尺度 2009–2019 年潛在棲地預測分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、(C) Bioclim

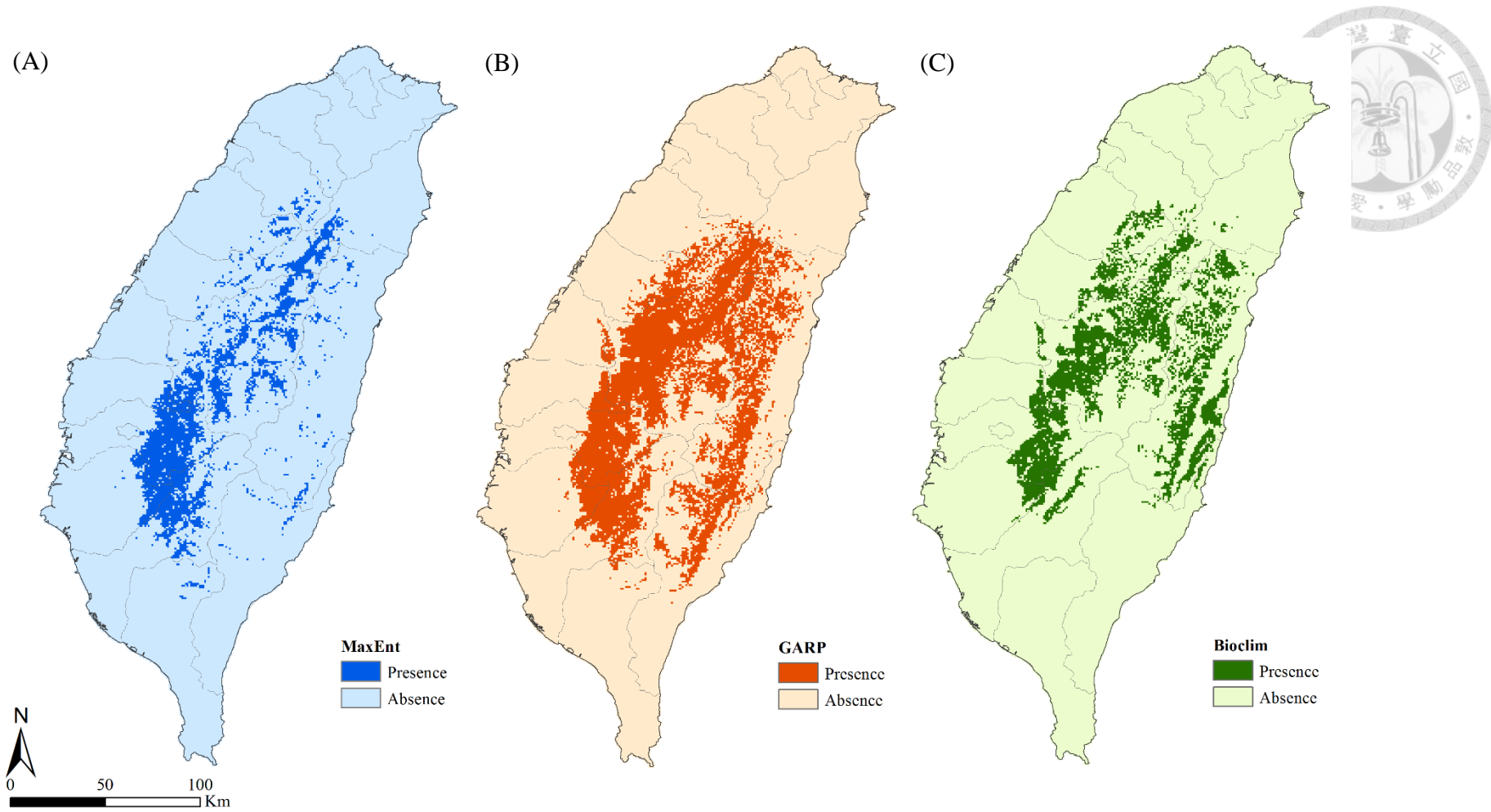


圖 25、臺灣尺度 2009–2019 年棲地二元分布圖：(A) MaxEnt、(B) GARP、(C) Bioclim

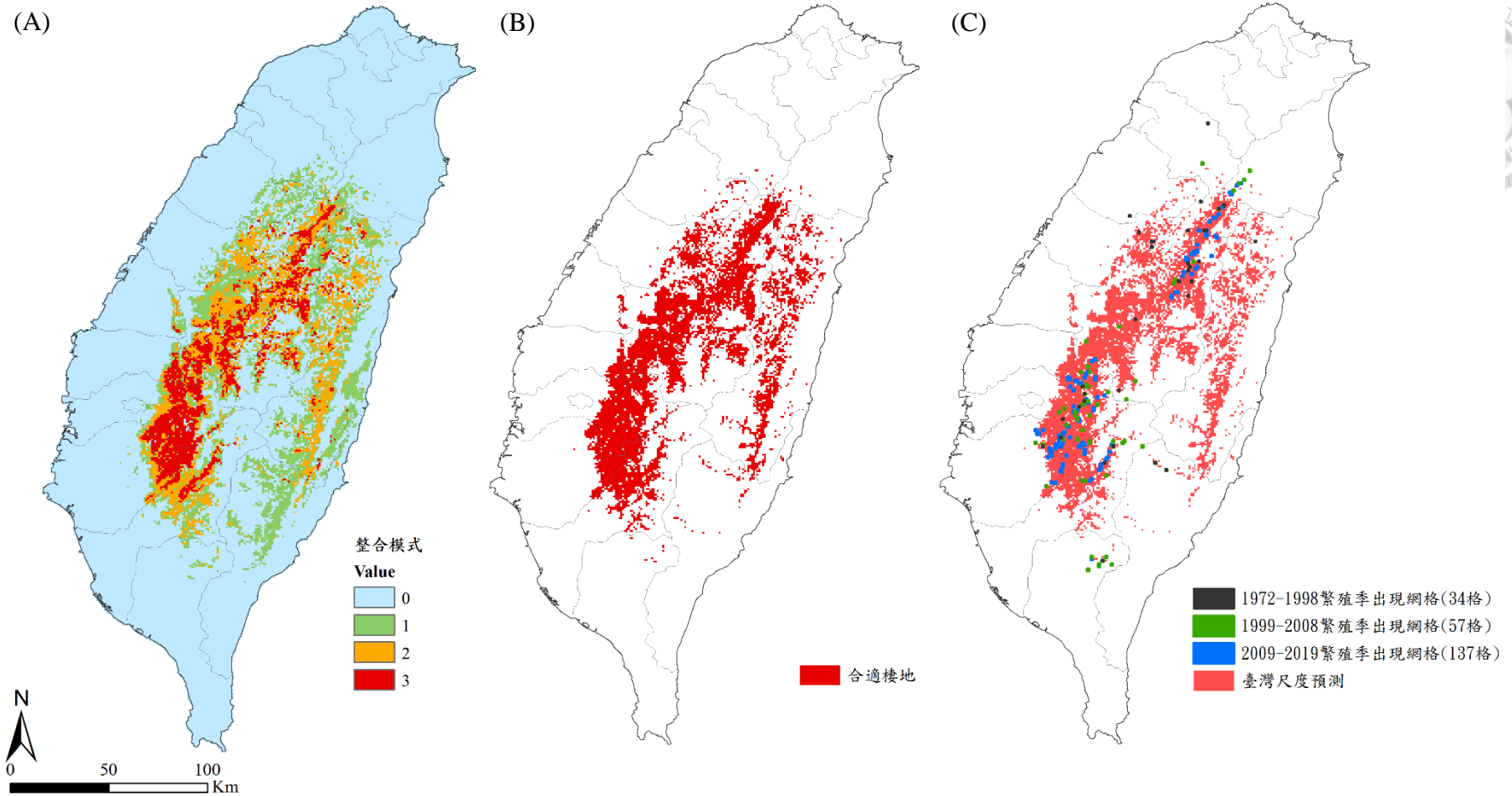


圖 26、臺灣尺度 2009–2019 年整合模式預測結果：(A) 三種模式的棲地二元分布圖疊合、(B) 合適棲地(兩個以上的模式預測為出現的網格)、(C) 與山麻雀在臺灣歷年繁殖季出現網格比較

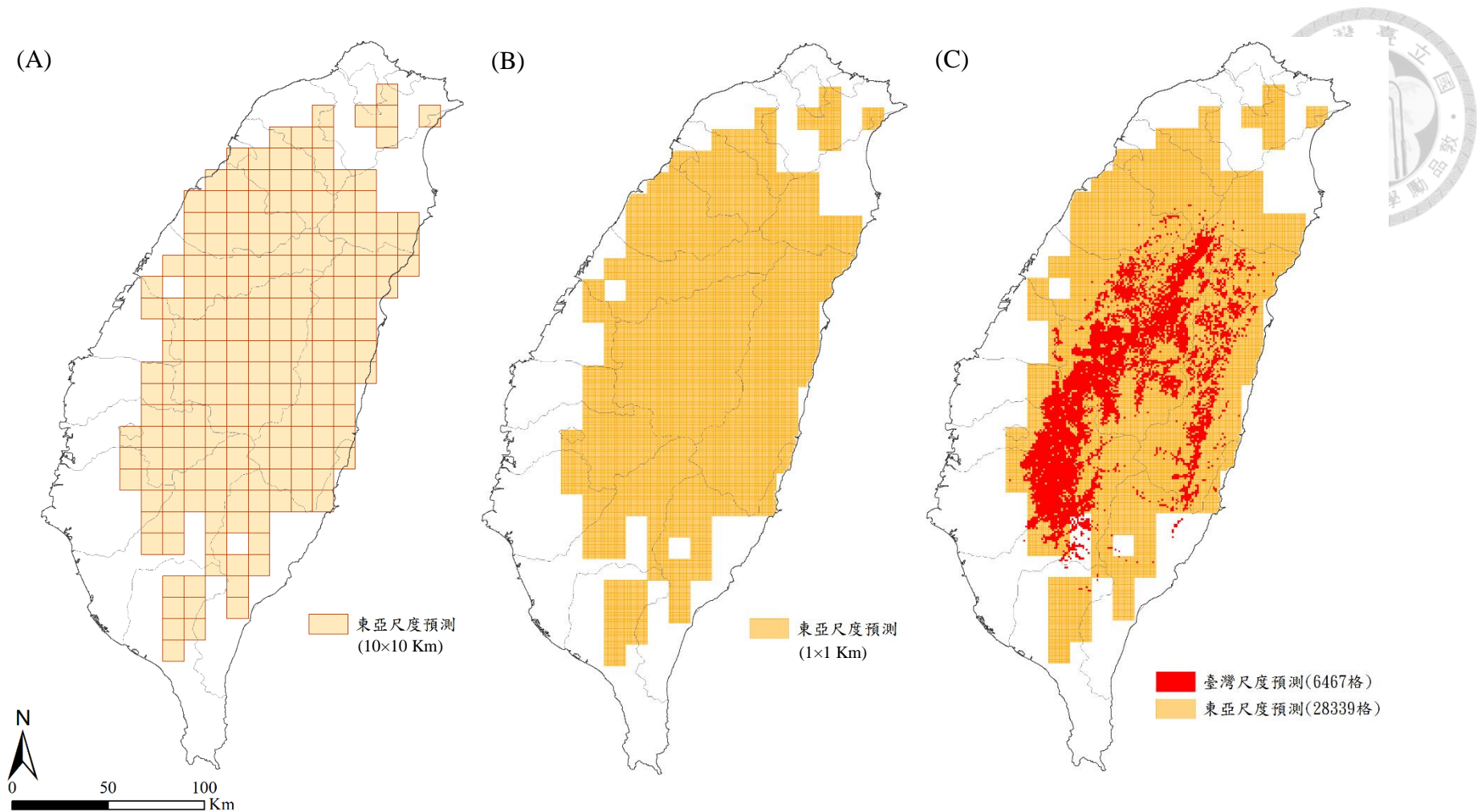


圖 27、東亞尺度和臺灣尺度 2009–2019 年物種分布模式比較：(A) 東亞尺度預測 (10×10 Km)、(B) 東亞尺度預測 (1×1 Km)、
(C) 合適棲地範圍比較

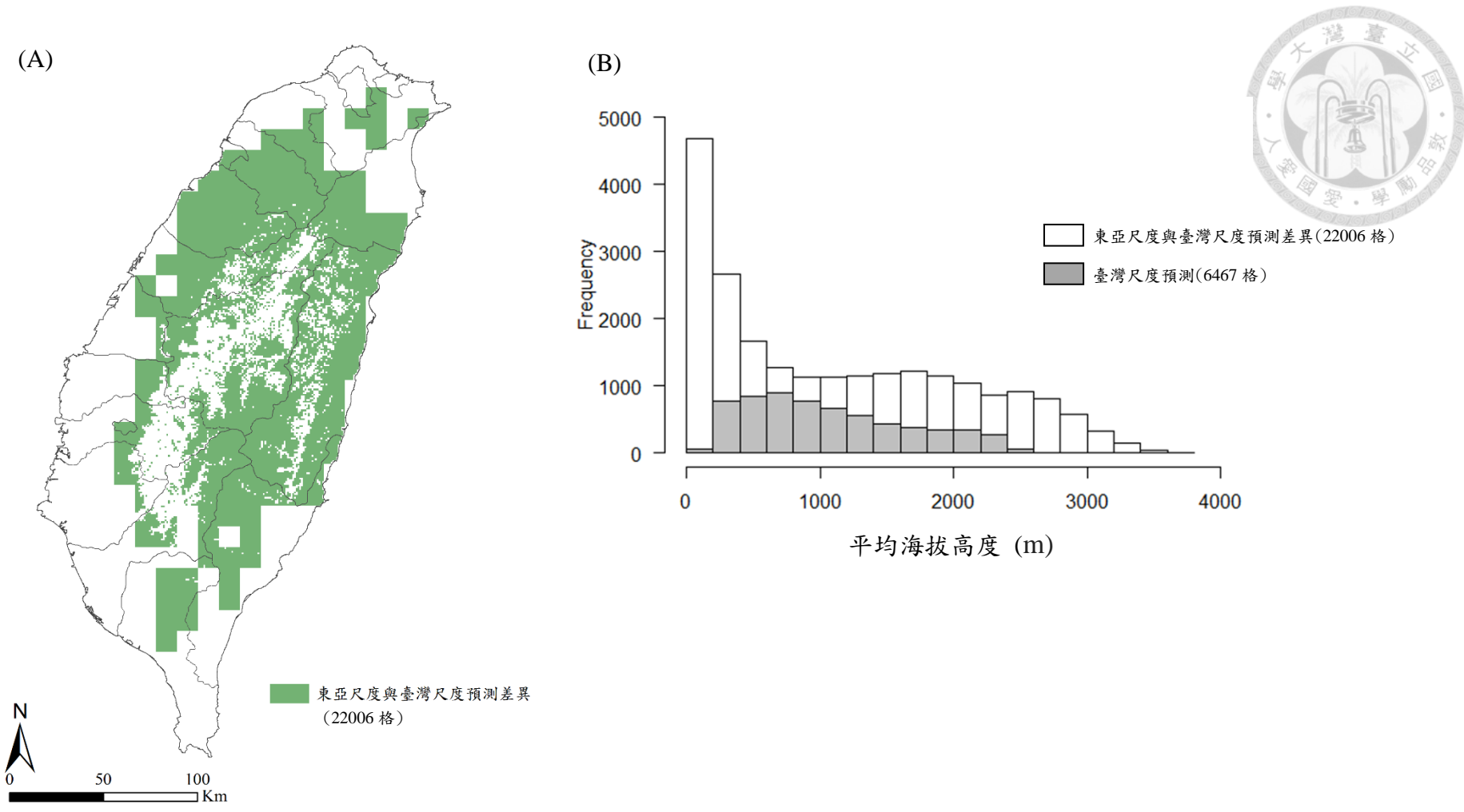
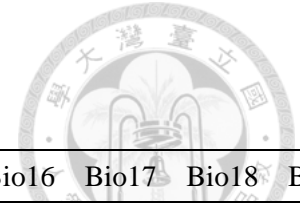


圖 28、不同尺度預測結果比較：(A) 東亞尺度與臺灣尺度 2009–2019 年預測差異分布、(B) 平均海拔高度比較

表

表 1、東亞尺度環境因子相關性檢定 (Pearson's correlation coefficient)



	Bio1	Bio2	Bio3	Bio4	Bio5	Bio6	Bio7	Bio8	Bio9	Bio10	Bio11	Bio12	Bio13	Bio14	Bio15	Bio16	Bio17	Bio18	Bio19
Bio1	1	-0.45	0.26	-0.53	0.85	0.94	-0.53	0.84	0.91	0.90	0.94	0.58	0.57	0.25	-0.11	0.57	0.26	0.29	0.24
Bio2		1	0.19	0.48	-0.12	-0.59	0.68	-0.26	-0.43	-0.29	-0.53	-0.72	-0.59	-0.62	0.62	-0.59	-0.62	-0.57	-0.51
Bio3			1	-0.71	-0.04	0.39	-0.54	-0.08	0.46	-0.07	0.45	0.19	0.28	-0.32	0.28	0.29	-0.31	0.08	-0.21
Bio4				1	-0.04	-0.77	0.96	-0.07	-0.74	-0.12	-0.78	-0.63	-0.60	-0.20	0.20	-0.61	-0.21	-0.38	-0.23
Bio5					1	0.64	-0.02	0.92	0.65	0.98	0.65	0.24	0.26	0.10	0.07	0.26	0.11	0.00	0.09
Bio6						1	-0.78	0.64	0.95	0.72	1.00	0.70	0.66	0.34	-0.23	0.67	0.35	0.38	0.33
Bio7							1	-0.09	-0.71	-0.14	-0.77	-0.72	-0.65	-0.35	0.36	-0.65	-0.37	-0.50	-0.35
Bio8								1	0.56	0.94	0.64	0.33	0.35	0.13	0.05	0.34	0.13	0.20	0.03
Bio9									1	0.69	0.96	0.60	0.58	0.26	-0.16	0.59	0.28	0.26	0.33
Bio10										1	0.71	0.37	0.36	0.22	-0.05	0.36	0.23	0.14	0.19
Bio11											1	0.68	0.65	0.28	-0.17	0.66	0.30	0.36	0.28
Bio12												1	0.95	0.52	-0.35	0.95	0.55	0.79	0.49
Bio13													1	0.30	-0.11	1.00	0.33	0.77	0.31
Bio14														1	-0.68	0.30	1.00	0.34	0.89
Bio15															1	-0.11	-0.69	-0.23	-0.61
Bio16																1	0.33	0.77	0.31
Bio17																	1	0.35	0.90
Bio18																		1	0.26
Bio19																			1

*粗體字為相關係數之絕對值大於 0.8

表 1、東亞尺度環境因子相關性檢定 (Pearson's correlation coefficient)(續)

	Class1	Class2	Class3	Class4	Class5	Class6	Class7	Class8	Class9	Class 10	Class 11	Class 12	DEM _max	DEM _mean	DEM _min	DEM _std
Bio1	-0.01	0.33	0.04	0.11	0.13	-0.59	0.51	0.09	0.11	-0.31	-0.34	0.08	-0.76	-0.76	-0.76	-0.27
Bio2	-0.33	-0.35	-0.25	-0.45	-0.04	0.35	-0.19	-0.18	-0.08	0.04	0.64	-0.36	0.42	0.44	0.46	-0.18
Bio3	-0.24	0.32	-0.17	-0.26	0.35	0.11	0.10	-0.09	-0.08	0.05	-0.05	-0.28	0.34	0.34	0.33	0.20
Bio4	0.00	-0.44	0.03	-0.05	-0.31	0.13	-0.22	-0.04	0.00	-0.04	0.46	-0.09	-0.05	-0.04	-0.03	-0.29
Bio5	-0.08	0.09	0.03	0.03	-0.02	-0.59	0.47	0.06	0.12	-0.38	-0.05	0.01	-0.87	-0.87	-0.86	-0.52
Bio6	0.03	0.41	0.04	0.14	0.20	-0.51	0.45	0.10	0.09	-0.21	-0.46	0.14	-0.57	-0.58	-0.59	-0.07
Bio7	-0.11	-0.46	-0.02	-0.16	-0.28	0.18	-0.21	-0.08	-0.02	-0.03	0.55	-0.18	0.03	0.05	0.06	-0.33
Bio8	-0.01	0.16	0.08	0.11	-0.05	-0.60	0.46	0.08	0.13	-0.48	-0.14	0.05	-0.88	-0.88	-0.88	-0.50
Bio9	-0.03	0.36	-0.01	0.05	0.22	-0.48	0.43	0.07	0.07	-0.13	-0.35	0.09	-0.49	-0.50	-0.51	-0.07
Bio10	0.00	0.15	0.06	0.11	-0.02	-0.64	0.49	0.09	0.14	-0.38	-0.17	0.07	-0.92	-0.92	-0.91	-0.46
Bio11	0.00	0.41	0.02	0.10	0.22	-0.49	0.46	0.09	0.08	-0.22	-0.43	0.11	-0.54	-0.55	-0.56	-0.09
Bio12	0.25	0.55	0.15	0.35	0.13	-0.34	0.19	0.15	0.03	-0.09	-0.55	0.16	-0.36	-0.38	-0.39	0.18
Bio13	0.15	0.52	0.14	0.25	0.11	-0.30	0.25	0.11	0.03	-0.10	-0.53	0.10	-0.34	-0.35	-0.36	0.12
Bio14	0.40	0.16	0.11	0.43	-0.03	-0.29	0.00	0.11	0.07	-0.05	-0.33	0.28	-0.28	-0.30	-0.31	0.12
Bio15	-0.37	-0.13	-0.15	-0.41	-0.05	0.24	0.05	-0.13	-0.04	-0.15	0.32	-0.20	0.18	0.20	0.21	-0.29
Bio16	0.15	0.52	0.14	0.26	0.12	-0.30	0.25	0.12	0.03	-0.10	-0.52	0.10	-0.33	-0.34	-0.36	0.12
Bio17	0.40	0.17	0.11	0.43	-0.02	-0.29	0.01	0.12	0.07	-0.05	-0.34	0.28	-0.29	-0.30	-0.31	0.13
Bio18	0.24	0.50	0.15	0.32	0.10	-0.19	0.09	0.10	0.03	-0.08	-0.47	0.08	-0.19	-0.21	-0.22	0.26
Bio19	0.33	0.13	0.06	0.33	0.00	-0.23	0.01	0.08	0.05	0.05	-0.31	0.26	-0.21	-0.22	-0.23	0.17

*粗體字為相關係數之絕對值大於 0.8

表 1、東亞尺度環境因子相關性檢定 (Pearson's correlation coefficient)(續)

	Class1	Class2	Class3	Class4	Class5	Class6	Class7	Class8	Class9	Class10	Class11	Class12	DEM_max	DEM_mean	DEM_min	DEM_std
Class1	1	0.09	0.13	0.66	-0.05	-0.17	-0.18	0.04	-0.04	-0.06	-0.27	-0.06	-0.08	-0.10	-0.12	0.37
Class2		1	0.05	0.11	0.31	-0.20	-0.19	0.02	-0.06	-0.07	-0.21	-0.06	-0.12	-0.13	-0.15	0.25
Class3			1	0.46	0.02	-0.21	-0.11	-0.01	-0.05	-0.08	-0.21	-0.06	-0.19	-0.20	-0.21	0.10
Class4				1	0.05	-0.33	-0.18	0.02	-0.07	-0.12	-0.35	-0.10	-0.24	-0.26	-0.27	0.30
Class5					1	-0.04	-0.20	-0.05	-0.08	0.01	-0.10	-0.11	0.12	0.12	0.11	0.21
Class6						1	-0.21	-0.08	-0.09	0.14	-0.06	-0.11	0.65	0.66	0.66	0.21
Class7							1	0.02	0.15	-0.18	-0.51	-0.12	-0.46	-0.45	-0.44	-0.32
Class8								1	0.07	-0.03	-0.09	0.14	-0.13	-0.13	-0.13	-0.09
Class9									1	-0.04	-0.10	0.02	-0.15	-0.15	-0.15	-0.13
Class10										1	0.00	-0.04	0.40	0.38	0.37	0.41
Class11											1	-0.11	0.23	0.25	0.26	-0.22
Class12												1	-0.15	-0.14	-0.14	-0.17
DEM_max													1	1	1	0.50
DEM_mean														1	1	0.46
DEM_min															1	0.42
DEM_std																1

*粗體字為相關係數之絕對值大於 0.8

表 2、臺灣尺度環境因子相關性檢定 (Pearson's correlation coefficient)

	Bio1	Bio2	Bio3	Bio4	Bio5	Bio6	Bio7	Bio8	Bio9	Bio10	Bio11	Bio12	Bio13	Bio14	Bio15	Bio16	Bio17	Bio18	Bio19
Bio1	1	-0.23	-0.20	0.37	0.97	0.97	0.23	0.99	0.90	0.98	0.98	-0.24	-0.02	-0.21	0.41	-0.03	-0.21	-0.02	-0.16
Bio2		1	0.87	0.27	-0.08	-0.42	0.61	-0.14	-0.31	-0.17	-0.31	0.30	0.43	-0.10	0.24	0.39	-0.11	0.52	-0.15
Bio3			1	-0.07	-0.14	-0.31	0.28	-0.11	-0.32	-0.21	-0.21	0.27	0.59	-0.25	0.49	0.56	-0.25	0.76	-0.35
Bio4				1	0.59	0.17	0.92	0.40	0.37	0.54	0.19	0.29	-0.05	0.43	-0.28	-0.05	0.43	-0.30	0.54
Bio5					1	0.88	0.46	0.96	0.87	0.99	0.90	-0.11	-0.01	-0.07	0.30	-0.01	-0.07	-0.07	-0.01
Bio6						1	-0.02	0.94	0.88	0.92	0.99	-0.33	-0.08	-0.25	0.41	-0.07	-0.25	-0.06	-0.22
Bio7							1	0.28	0.19	0.38	0.05	0.36	0.13	0.32	-0.13	0.12	0.31	-0.04	0.38
Bio8								1	0.86	0.97	0.96	-0.26	-0.01	-0.26	0.47	-0.02	-0.27	0.05	-0.22
Bio9									1	0.90	0.88	-0.18	0.00	-0.14	0.34	0.01	-0.13	-0.11	-0.02
Bio10										1	0.93	-0.16	-0.04	-0.09	0.30	-0.04	-0.09	-0.10	-0.02
Bio11											1	-0.31	-0.02	-0.30	0.48	-0.02	-0.30	0.03	-0.27
Bio12												1	0.69	0.76	-0.35	0.72	0.77	0.26	0.70
Bio13													1	0.13	0.39	0.99	0.13	0.79	0.06
Bio14														1	-0.78	0.18	1	-0.37	0.95
Bio15															1	0.35	-0.78	0.70	-0.78
Bio16																1	0.19	0.76	0.11
Bio17																	1	-0.37	0.96
Bio18																		1	-0.47
Bio19																			1

*粗體字為相關係數之絕對值大於 0.8

表 2、臺灣尺度環境因子相關性檢定 (Pearson's correlation coefficient) (續)

	Class1	Class2	Class3	Class4	Class5	Class6	Class7	Class8	Class9	Class 10	Class 11	Class 12	DEM _max	DEM _mean	DEM _min	DEM _std
Bio1	-0.06	-0.34	0.01	-0.53	0.24	0.08	0.56	0.08	0.24	0.01	0.00	-0.10	-0.84	-0.85	-0.85	-0.61
Bio2	0.08	0.32	-0.02	0.31	0.02	-0.06	-0.20	-0.27	-0.18	-0.01	-0.18	-0.49	0.56	0.55	0.54	0.46
Bio3	0.07	0.36	-0.01	0.27	-0.05	-0.06	-0.21	-0.27	-0.21	-0.01	-0.17	-0.48	0.61	0.60	0.59	0.49
Bio4	0.02	-0.08	-0.01	0.03	0.13	0.04	0.15	-0.07	0.15	0.00	-0.12	-0.35	-0.18	-0.18	-0.18	-0.13
Bio5	-0.04	-0.30	0.01	-0.45	0.24	0.07	0.51	0.03	0.23	0.01	-0.05	-0.20	-0.76	-0.77	-0.77	-0.54
Bio6	-0.07	-0.37	0.02	-0.58	0.21	0.08	0.55	0.12	0.24	0.01	0.04	0.03	-0.89	-0.90	-0.90	-0.65
Bio7	0.05	0.06	-0.02	0.14	0.11	0.01	0.05	-0.16	0.05	0.00	-0.17	-0.48	0.06	0.06	0.06	0.08
Bio8	-0.06	-0.34	0.01	-0.52	0.24	0.08	0.57	0.06	0.24	0.01	-0.01	-0.15	-0.80	-0.80	-0.80	-0.59
Bio9	-0.06	-0.36	0.01	-0.49	0.22	0.09	0.53	0.10	0.23	0.01	0.02	-0.02	-0.83	-0.83	-0.83	-0.63
Bio10	-0.05	-0.33	0.01	-0.48	0.24	0.08	0.53	0.06	0.25	0.01	-0.03	-0.15	-0.81	-0.81	-0.81	-0.58
Bio11	-0.07	-0.34	0.01	-0.57	0.22	0.08	0.56	0.10	0.22	0.01	0.02	-0.03	-0.86	-0.87	-0.86	-0.62
Bio12	0.07	0.46	-0.01	0.34	-0.11	-0.10	-0.44	-0.18	-0.17	-0.01	-0.16	-0.31	0.48	0.46	0.43	0.49
Bio13	0.05	0.42	0.00	0.11	-0.02	-0.08	-0.28	-0.19	-0.18	-0.01	-0.14	-0.34	0.35	0.33	0.31	0.38
Bio14	0.04	0.23	-0.01	0.32	-0.10	-0.07	-0.33	-0.04	-0.04	-0.01	-0.08	-0.10	0.23	0.21	0.19	0.28
Bio15	-0.02	-0.10	0.01	-0.29	0.13	0.06	0.30	-0.04	0.02	0.01	0.01	-0.16	-0.19	-0.18	-0.17	-0.20
Bio16	0.05	0.43	0.00	0.12	-0.04	-0.08	-0.29	-0.19	-0.18	-0.01	-0.14	-0.33	0.35	0.33	0.31	0.38
Bio17	0.04	0.23	-0.01	0.32	-0.10	-0.07	-0.34	-0.05	-0.04	-0.01	-0.08	-0.10	0.23	0.22	0.20	0.28
Bio18	0.03	0.33	0.00	-0.01	0.00	-0.04	-0.14	-0.18	-0.14	0.00	-0.10	-0.31	0.33	0.33	0.32	0.28
Bio19	0.03	0.16	-0.01	0.28	-0.08	-0.05	-0.27	-0.02	-0.02	-0.01	-0.07	-0.08	0.15	0.14	0.13	0.18

*粗體字為相關係數之絕對值大於 0.8

表 2、臺灣尺度環境因子相關性檢定 (Pearson's correlation coefficient) (續)

	Class1	Class2	Class3	Class4	Class5	Class6	Class7	Class8	Class9	Class10	Class11	Class12	DEM_max	DEM_mean	DEM_min	DEM_std
Class1	1	-0.09	0.04	0.11	0.07	0.03	-0.06	-0.04	-0.07	0.01	-0.02	-0.05	0.08	0.08	0.08	0.05
Class2		1	-0.02	0.00	-0.27	-0.24	-0.73	-0.25	-0.37	-0.01	-0.13	-0.27	0.50	0.46	0.41	0.67
Class3			1	0.00	0.04	0.01	-0.01	-0.01	-0.02	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	0.00
Class4				1	0.00	-0.08	-0.37	-0.15	-0.20	-0.01	-0.08	-0.17	0.60	0.61	0.62	0.41
Class5					1	0.00	0.10	-0.01	-0.03	0.00	-0.02	-0.08	-0.24	-0.23	-0.23	-0.20
Class6						1	0.13	0.11	0.09	0.02	0.06	0.02	-0.09	-0.08	-0.07	-0.16
Class7							1	-0.04	0.12	0.00	-0.03	-0.08	-0.59	-0.56	-0.53	-0.66
Class8								1	0.25	0.01	0.17	0.34	-0.20	-0.20	-0.18	-0.21
Class9									1	0.00	0.02	0.01	-0.29	-0.27	-0.25	-0.34
Class10										1	0.02	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Class11											1	0.25	-0.10	-0.10	-0.09	-0.12
Class12												1	-0.23	-0.22	-0.21	-0.23
DEM_max													1	1	0.98	0.80
DEM_mean														1	0.99	0.74
DEM_min															1	0.68
DEM_std																1

*粗體字為相關係數之絕對值大於 0.8

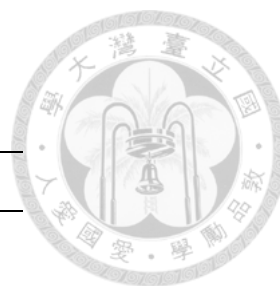


表 3、本研究東亞尺度與臺灣尺度使用之環境因子

環境因子	東亞尺度(22項)	臺灣尺度(21項)
年均溫	✓	—
平均日溫差	✓	—
溫度恆定性	✓	✓
溫度季節性	✓	✓
年降水量	✓	✓
最潮濕月份之降水量	—	✓
最乾燥月份之降水量	✓	✓
降水之季節性	✓	✓
最溫暖季節之降水量	✓	✓
常綠/落葉針葉林	✓	✓
常綠闊葉林	✓	✓
落葉闊葉林	✓	✓
混合林	✓	✓
灌木	✓	✓
草本植被	✓	✓
栽培和管理作物	✓	✓
濕地植被	✓	✓
都市建築物	✓	✓
雪	✓	✓
裸露地	✓	✓
開放水域	✓	✓
平均海拔	✓	✓
海拔標準差	✓	✓



表 4、山麻雀在東亞尺度與臺灣尺度三個時期的資料筆數與網格數

東亞尺度 (約 10×10 公里)	1964 年~1998 年	1999 年~2008 年	2009 年~2019 年	歷年
資料筆數	366	538	9085	9989
網格數	130	223	1216	1346

臺灣尺度 (約 1×1 公里)	1972 年~1998 年	1999 年~2008 年	2009 年~2019 年	歷年
資料筆數	197	192	1308	1697
網格數	51	72	182	253



表 5、山麻雀東亞尺度現有分布網格棲地特性 (n=1346)

環境因子	Mean ± SD	Min.	Max.
年均溫	12.5 ± 6.2	-8.9	26.9
平均日溫差	8.0 ± 2.0	1.4	11.6
年溫差	27.2 ± 5.2	13.1	42.2
年降水量	1477 ± 741	65	8960
平均海拔高度	1559 ± 1268.37	0	5443
海拔標準差	72 ± 45	0	229
常綠/落葉針葉林	8.6 ± 8.8	0	52.3
常綠闊葉林	9.4 ± 16.3	0	97.0
落葉闊葉林	4.8 ± 6.5	0	34.5
混合林	23.5 ± 15.1	0	73.4
灌木	5.4 ± 5.2	0	33.8
草本植被	7.6 ± 13.1	0	72.7
栽培和管理作物	31.2 ± 22.9	0	100.0
濕地植被	0.3 ± 1.1	0	20.5
都市建築物	2.7 ± 10.7	0	99.6
雪	1.2 ± 5.8	0	69.1
裸露地	1.5 ± 7.0	0	63.2
開放水域	3.8 ± 14.0	0	99.4



表 6、山麻雀在臺灣尺度現有分布網格棲地特性 (n=253)

環境因子	Mean ± SD	Min.	Max.
年均溫	18.0 ± 3.7	3.0	23.4
平均日溫差	5.1 ± 0.4	3.5	5.6
年溫差	17.3 ± 1.0	13.2	19.2
年降水量	2394 ± 446	1638	3611
平均海拔高度	1035 ± 644	98	3684
海拔標準差	78 ± 36	0	192
常綠/落葉針葉林	1.3 ± 4.8	0	35.0
常綠闊葉林	57.5 ± 30.9	0	100.0
落葉闊葉林	0.2 ± 1.9	0	28.0
混合林	15.9 ± 15.7	0	49.0
灌木	7.3 ± 9.2	0	36.0
草本植被	0.7 ± 3.2	0	24.0
栽培和管理作物	14.0 ± 16.8	0	85.0
濕地植被	1.1 ± 4.8	0	45.0
都市建築物	0.4 ± 3.5	0	42.0
雪	0	0	0
裸露地	0	0	0
開放水域	1.6 ± 8.5	0	100.0

表 7、MaxEnt、GARP 和 Bioclim 三種模式各別的閾值、合適棲地網格數、AUC 值及 Kappa 值

	模式	閾值	合適棲地網格數	AUC值	Kappa值
東亞尺度	MaxEnt	0.18	22879 (16.7%)	0.94	0.72
	GARP	0.70	46142 (33.7%)	0.87	0.63
	Bioclim	0.01	32514 (23.7%)	0.86	0.56
	Ensemble model	—	32556 (23.8%)	—	0.66
臺灣尺度 1972 —1998年	MaxEnt	0.23	7091 (15.2%)	0.88	0.55
	GARP	0.75	16377 (35.0%)	0.88	0.59
	Bioclim	0.02	11598 (24.8%)	0.73	0.44
	Ensemble model	—	11998 (25.6%)	—	0.57
臺灣尺度 1998 —2008年	MaxEnt	0.26	7244 (15.5%)	0.93	0.68
	GARP	0.90	15632 (33.4%)	0.80	0.47
	Bioclim	0.01	16274 (34.8%)	0.72	0.37
	Ensemble model	—	12732 (27.2%)	—	0.50
臺灣尺度 2009 —2019年	MaxEnt	0.14	4425 (9.5%)	0.98	0.88
	GARP	0.95	13973 (29.9%)	0.92	0.73
	Bioclim	0.03	5985 (12.8%)	0.91	0.65
	Ensemble model	—	6467 (13.8%)	—	0.76

表 8、MaxEnt 模式各環境因子於東亞尺度和臺灣尺度的相對貢獻度

環境因子	東亞尺度	臺灣尺度		
		1972–1998 年	1999–2008 年	2009–2019 年
年均溫	1.4	—	—	—
平均日溫差	3.5	—	—	—
溫度恆定性	2.9	4.3	14.5	2.4
溫度季節性	4.2	1.2	2	18.7
年降水量	0.3	4.5	1.2	2.6
最潮濕月份之降水量	—	1.7	0.1	0.2
最乾燥月份之降水量	1.4	5.1	0.9	0.7
降水之季節性	1.0	0.1	18.6	14.2
最溫暖季節之降水量	0.9	3.5	10.6	4.6
常綠/落葉針葉林	23.2	1.1	1.1	1
常綠闊葉林	22.3	0.7	0.1	1.1
落葉闊葉林	1.0	4.9	0	0
混合林	8.3	5	3.3	2.1
灌木	7.5	5	0.7	7.7
草本植被	3.5	0	0	0.2
栽培和管理作物	1.0	5.1	2.3	4.4
濕地植被	0.1	2.6	0.1	2.2
都市建築物	3.2	0.1	0.6	0
雪	0.1	0	0	0
裸露地	3.4	0	0	0
開放水域	0.8	3.8	0.3	1.8
平均海拔	5.9	48.6	35.4	28.5
海拔標準差	4.3	2.7	8.3	7.5



表 9、山麻雀東亞尺度合適棲地特性 (n=32556)

環境因子	Mean ± SD	Min.	Max.
年均溫	13.9 ± 5.5	-3.5	24.5
平均日溫差	7.4 ± 1.5	1.4	11.8
年溫差	27.9 ± 5.3	11.3	44.0
年降水量	1361 ± 615	192	9384
平均海拔高度	1073 ± 1106	-0.4	4928
海拔標準差	58 ± 37	0.2	396
常綠/落葉針葉林	8.6 ± 8.1	0	64.2
常綠闊葉林	8.4 ± 13.8	0	94.7
落葉闊葉林	4.0 ± 6.4	0	62.2
混合林	26.6 ± 15.7	0	76.7
灌木	6.1 ± 5.7	0	32.1
草本植被	6.1 ± 11.8	0	76.5
栽培和管理作物	34.9 ± 22.9	0	93.8
濕地植被	0.3 ± 0.9	0	17.6
都市建築物	1.0 ± 4.3	0	89.3
雪	0.6 ± 3.5	0	74.2
裸露地	0.6 ± 2.7	0	47.5
開放水域	2.9 ± 11.3	0	95.2



表 10、山麻雀臺灣尺度合適棲地特性 (n=6467)

環境因子	Mean ± SD	Min.	Max.
年均溫	17.7 ± 3.5	6.1	23.3
平均日溫差	5.2 ± 0.3	3.9	5.6
年溫差	17.5 ± 0.9	14.3	19.3
年降水量	2451 ± 356	1589	3631
平均海拔高度	1078 ± 606	132	3114
海拔標準差	87 ± 31	4	179
常綠/落葉針葉林	1.4 ± 4.6	0	36.0
常綠闊葉林	68.1 ± 26.9	0	100.0
落葉闊葉林	0.02 ± 0.5	0	23.0
混合林	14.6 ± 17.2	0	51.0
灌木	6.1 ± 8.6	0	41.0
草本植被	0.3 ± 1.8	0	25.0
栽培和管理作物	9.1 ± 13.9	0	91.0
濕地植被	0.2 ± 2.0	0	44.0
都市建築物	0.03 ± 0.8	0	33.0
雪	0	0	0
裸露地	0	0	0
開放水域	0.2 ± 2.7	0	84.0



表 11、東亞尺度與臺灣尺度合適棲地比較

		臺灣尺度預測結果	
		合適棲地	非合適棲地
東亞尺度 預測結果	合適棲地	6333	22006
	非合適棲地	134	18314

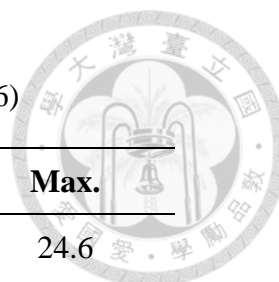


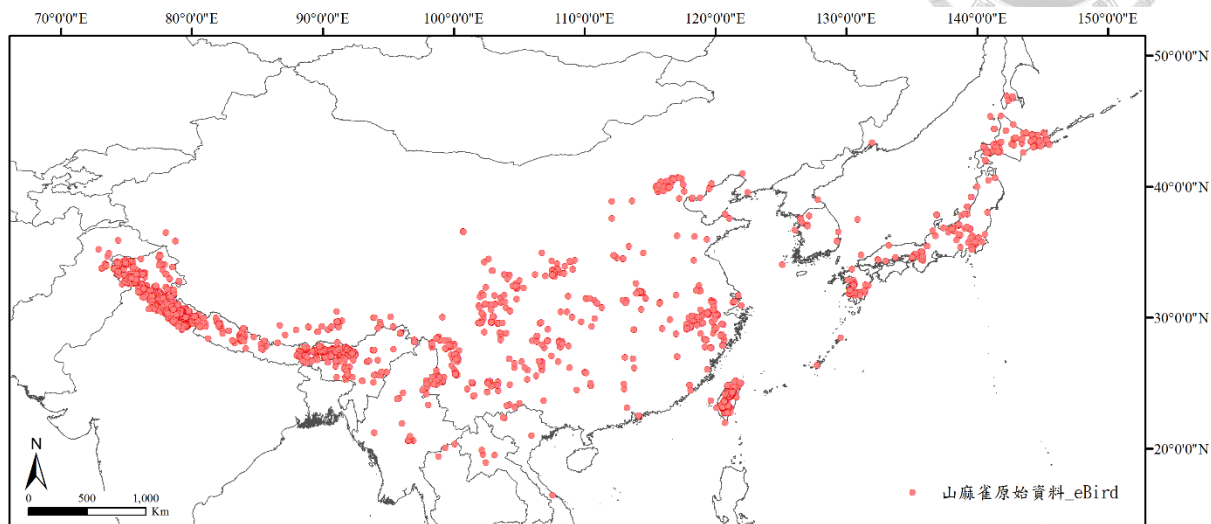
表 12、東亞尺度與臺灣尺度合適棲地差異之棲地特性 (n=22006)

環境因子	Mean ± SD	Min.	Max.
年均溫	17.2 ± 4.9	3.0	24.6
平均日溫差	4.6 ± 0.6	2.8	5.6
年溫差	16.9 ± 1.5	12.0	19.3
年降水量	2446 ± 544	1360	4451
平均海拔高度	1123 ± 929	1	3684
海拔標準差	88 ± 56	0	331
常綠/落葉針葉林	1.6 ± 5.3	0	76.0
常綠闊葉林	54.0 ± 32.9	0	100.0
落葉闊葉林	0.1 ± 1.2	0	28.0
混合林	18.8 ± 19.4	0	68.0
灌木	4.6 ± 8.5	0	57.0
草本植被	0.7 ± 3.3	0	43.0
栽培和管理作物	17.2 ± 26.1	0	100.0
濕地植被	0.3 ± 2.4	0	45.0
都市建築物	2.1 ± 8.8	0	100.0
雪	0	0	0
裸露地	0.03 ± 0.7	0	39.0
開放水域	0.6 ± 4.3	0	100.0

附錄



附錄 1、山麻雀原始資料分布圖(13197 筆紀錄)



附錄 2、環境因子列表



環境因子	代號	單位	備註
氣候			
年均溫 (Annual Mean Temperature)	BIO1	[°C]	
平均日溫差 (Mean Diurnal Range)	BIO2	[°C]	
溫度恆定性 (Isothermality)	BIO3		(BIO2/BIO7)*100
溫度季節性 (Temperature Seasonality)	BIO4	[standard deviation]	
最暖月份的最高溫 (Max Temperature of Warmest Month)	BIO5	[°C]	
最冷月份的最低溫 (Min Temperature of Coldest Month)	BIO6	[°C]	
年溫差 (Temperature Annual Range)	BIO7	[°C]	
最潮濕季節之平均溫度 (Mean Temperature of Wettest Quarter)	BIO8	[°C]	
最乾燥季節之平均溫度 (Mean Temperature of Driest Quarter)	BIO9	[°C]	
最溫暖季節之平均溫度 (Mean Temperature of Warmest Quarter)	BIO10	[°C]	
最寒冷季節之平均溫度 (Mean Temperature of Coldest Quarter)	BIO11	[°C]	
年降水量 (Annual Precipitation)	BIO12	[mm/year]	
最潮濕月份之降水量 (Precipitation of Wettest Month)	BIO13	[mm/month]	
最乾燥月份之降水量 (Precipitation of Driest Month)	BIO14	[mm/month]	
降水季節性 (Precipitation Seasonality)	BIO15	[coefficient of variation]	
最潮濕季節之降水量 (Precipitation of Wettest Quarter)	BIO16	[mm/quarter]	
最乾燥季節之降水量 (Precipitation of Driest Quarter)	BIO17	[mm/quarter]	

附錄 2、環境因子列表(續)



環境因子	代號	單位	備註
最溫暖季節之降水量 (Precipitation of Warmest Quarter)	BIO18	[mm/quarter]	
最寒冷季節之降水量 (Precipitation of Coldest Quarter)	BIO19	[mm/quarter]	
土地覆蓋類型			
常綠/落葉針葉林 (Evergreen/Deciduous Needleleaf Trees)	Class1	%	
常綠闊葉林 (Evergreen Broadleaf Trees)	Class2	%	
落葉闊葉林 (Deciduous Broadleaf Trees)	Class3	%	
混合林 (Mixed/Other Trees)	Class4	%	
灌木 (Shrubs)	Class5	%	
草本植被 (Herbaceous Vegetation)	Class6	%	
栽培和管理作物 (Cultivated and Managed Vegetation)	Class7	%	包含農田和與天然林鑲嵌的植被
濕地植被 (Regularly Flooded Vegetation)	Class8	%	
都市建築物 (Urban/Built-up)	Class9	%	
雪 (Snow/Ice)	Class10	%	
裸露地 (Barren)	Class11	%	
開放水域 (Open Water)	Class12	%	
海拔高度			
最高海拔 (Maximum elevation)	DEM_max	[m]	
平均海拔 (Mean elevation)	DEM_mean	[m]	
最低海拔 (Minimum elevation)	DEM_min	[m]	
海拔標準差 (Standard deviation elevation)	DEM_std	[m]	

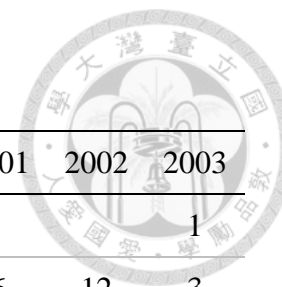
附錄 3、各國山麻雀出現網格數

	1964	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
不丹																
中國														2	1	7
香港																
印度			3	2			1	3	2	2		4		6		
日本				1								1		2	1	2
寮國																
緬甸																
尼泊爾									1			1	2	4	4	1
北韓																
巴基斯坦														3		
俄羅斯																
南韓	1															
臺灣		3	1		1	1		1	1	2	3	3		1	4	4
泰國																
越南																



附錄 3、各國山麻雀出現網格數(續)

	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
不丹			1	2				2		1	1			5			1
中國			4	1					2	3	3	1	1	1	6	12	3
香港																	
印度	2	4	1	4	4	2	1	3	5	3	1	2	2	3	11	10	12
日本		1		1				2		1	2		2	4	3		2
寮國																	
緬甸									1			1				1	
尼泊爾	6		1	1		3	1			1		1	1	2	2		1
北韓																	
巴基斯坦						1										1	
俄羅斯						2						1		2			
南韓														1			1
臺灣	7	4	5	6	3	2	2	4	4	5	8	14	14	12	7	9	12
泰國																	1
越南														1			



附錄 3、各國山麻雀出現網格數(續)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019/4*
不丹		6	9	6	10	11	20	13	3	20	27	29	36	40	42	42
中國	8	7	4	14	14	22	15	15	22	37	50	42	54	75	137	47
香港								1	1			1		2	1	
印度	14	11	7	8	12	21	29	31	45	70	98	148	184	236	262	161
日本	2	13	5	9	10	15	7	4	10	11	17	20	29	46	55	17
寮國			1									2		1	1	
緬甸										1	3	2	1	1	5	2
尼泊爾					5	1	4	2	3	4	10	8	7	19	13	10
北韓															1	
巴基斯坦										1	1		2	1	5	
俄羅斯													1			
南韓									2		1		1	3	2	
臺灣	15	9	7	11	5	5	1	8	6	9	11	14	13	19	27	18
泰國										1						
越南					1								1			1

*2019 年紀錄只到 4 月