

研究報告

應用BIOMOD2模擬臺灣水青岡之分布

邱清安^{1,2} 陳子英³ 王志強⁴ 邱祈榮⁵ 賴彥任⁶ 蔡智勇^{7,*}

【摘要】物種分布模擬 (Species Distribution Modeling, SDM) 是利用物種分布點資料與環境預測圖層去量化物種－環境關係，其中，模擬物種分布之方法在近年來被大量地發展使用。本研究以臺灣水青岡為材料，應用7項環境預測變數，在BIOMOD2 (BIODiversity MODelling 2) 平臺上同時完成10種模擬方法之分析，TSS、ROC、KAPPA指標評估結果顯示以GAM、RF、MAXENT方法模擬效果較佳，而FDA、SRE模擬效果較差，但實繪10種方法之預測機率圖，則發現不同方法所得之大致輪廓是相似的且符合現今臺灣水青岡之分布，同時為降低單一SDM方法的誤差，本文對預測較佳之模型進行整體模擬，藉由比較臺灣水青岡現今分布與潛在適合生育地之差異，有助於未來探討其與常綠闊葉樹之競爭、氣候變遷影響等問題。

【關鍵詞】物種分布模擬、臺灣水青岡、BIOMOD2、整體模擬

Research paper

Using BIOMOD2 to model the species distribution of *Fagus hayatae*

Ching-An Chiu^{1,2} Tze-Ying Chen³ Chih-Chiang Wang⁴ Chyi-Rong Chiou⁵
Yen-Jen Lai⁶ Chih-Yung Tsai^{7,*}

【Abstract】Species distribution modeling (SDM) is a numerical tool that combines species occurrence data with environmental predictor layers to explore species-environment relationship. The SDM methods had

1. 國立中興大學實驗林管理處
Experimental Forest, National Chung-Hsing University.
2. 國立中興大學森林學系
Department of Forestry, National Chung Hsing University.
3. 國立宜蘭大學森林暨自然資源學系
Department of Forestry and Natural Resources, National Ilan University.
4. 國立屏東科技大學森林系
Department of Forestry, National Pingtung University of Science and Technology.
5. 國立臺灣大學森林環境暨資源學系
School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University.
6. 國立臺灣大學實驗林管理處
Experimental Forest, National Taiwan University.
7. 臺北市立大學教育學系
Department of Education, University of Taipei.

* 通訊作者，10048臺北市中正區愛國西路1號

Corresponding Author. No.1, Ai-Guo West Road, Taipei, 10048 Taiwan ; E-mail: cytsai@tmue.edu.tw

greatly advanced in recent years. In this study, we use 10 SDM methods on BIOMOD2 platform to model the distribution of *Fagus hayatae* with 7 environmental variables. The results reveal that GAM, RF, and MAXENT gain the best performance, whereas FDA and SRE have the worst performance based on the TSS, ROC, and KAPPA evaluation. The general patterns of 10 SDM predictive maps are same and coincident with the current distribution of *F. hayatae*. For reducing the uncertainty of individual model, we perform the ensemble modeling by BIOMOD2. To compare the current and predicted distribution of *F. hayatae* could facilitate the future works such as species competition and climate change effects.

【Key words】 Species distribution modeling, *Fagus hayatae*, BIOMOD2, ensemble modeling

一、前言

物種分布模型 (species distribution modeling, SDM) 可藉由量化物種與環境間的關係來對生物調查資料進行空間推估 (Franklin, 2009), SDM不僅探討物種－環境關係 (species-environment relationship) 這一生態學的重要議題 (Guisan & Zimmermann, 2000), 同時也被廣泛應用在評估物種現況、保育計畫、入侵種、發現新族群、生態復育、氣候變遷、探討生態學理論等多種面向 (Elith & Leathwick, 2009; Dormann, 2011; Araújo & Peterson, 2012), 因此近20年來可在ISI Web of Science查詢到的SDM相關研究急劇地增加 (Newbold, 2010; Robinson *et al.*, 2011; Peterson & Soberón, 2012)。簡而言之, SDM是由3部分所構成: 物種分布點資料—即依存變數 (dependent variable)、環境預測圖層—即解釋變數 (explanatory variable)、生成物種－環境關係之演算法或函數—即模擬方法 (modeling method) (Moudrý & Šimová, 2012; Sangermano & Eastman, 2012), 其中模擬物種分布之方法在近年來被大量地發展使用 (e.g., Heikkinen *et al.*, 2006; Elith & Leathwick, 2009), 不同的SDM方法之模擬成效也常被加以評估比較 (e.g., Elith *et al.*, 2006; Marmion *et al.*, 2009)。

與SDM之蓬勃發展相似地, 近年急速成長的R是一種免費的統計分析與繪圖的環境, 其相關的套件 (package)、原始碼和說明檔案均可由CRAN (Comprehensive R Archive Network; <http://www.r-project.org/>) 下載, Thuiller *et*

al. (2009) 發表之BIOMOD (BIODiversity MODelling) 套件即是在R上整合9種SDM方法之平臺, 另由於最大熵模擬 (MAXimum ENTropy modeling, MAXENT; <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>; Phillips *et al.*, 2006) 操作簡便, 且常被認為是較為穩健的物種分布模擬方法 (Elith *et al.* 2006; Guisan *et al.* 2007; Phillips & Dudik, 2008; Elith *et al.*, 2011; Feeley & Silman 2011), 故在2012年之後續版本BIOMOD2便將MAXENT予以納入, 目前在BIOMOD2平臺上可同時完成10種SDM方法之分析, 甚便於比較不同SDM之模擬成效。

近年來在臺灣已有許多關於SDM之研究 (曹立松, 2006; 張鈺敏, 2008; 王文巧, 2011), 但仍未曾使用BIOMOD2來對多種的SDM進行綜合比較, 緣此, 本文嘗試以BIOMOD2為平臺, 以臺灣水青岡為分析目標物種, 雖然其現今之真實分布區為已知, 似乎無須再對其進行分布模擬, 然已知分布區的臺灣水青岡實為一個十分難得之材料, 因為本研究正可利用已知的臺灣水青岡的分布範圍, 進行固定的數量及位置之物種分布點資料之擷取, 以排除非本研究目標之物種分布點樣本大小 (sample size) 與空間錯誤 (spatial error) 等其他問題 (Hernandez *et al.*, 2006; Graham *et al.*, 2008; Wisz *et al.*, 2008), 而專注於以BIOMOD2實際比較10種不同SDM之預測成效。

二、材料與方法

(一) 目標物種與研究區域

臺灣水青岡 (*Fagus hayatae* Palib. ex Hayata) 是文化資產保存法公告之珍貴稀有植物，僅侷限分布於臺灣北部海拔高度約 1,100~2,100 m 的山區，多生長在少數山脈之山頂稜脊附近(劉棠瑞&蘇鴻傑 1972；邱清安 1996；翁仁憲等 2004；陳子英 2004, 2005；邱宗儀 2008)，本文即以其分布向外擴至TWD97之269523~340043、2701657~2755257為研究區範圍，如圖1右上紅色線框。

(二) 物種分布點資料與環境預測圖層

1. 物種分布點資料：由國家植群圖 (Chiou *et al.*, 2009) 中擷取臺灣水青岡之分布範圍，共計有 1,282 ha；利用 Geospatial Modelling Environment 軟體 (Beyer, 2012)，規則化每間隔 200 m 取一點，做為本文 SDM 所使用之物種分布點資料，共計有 319 個水青岡出現點位 (圖1)。

2. 環境預測圖層：依 Elith & Leathwick (2009)、Dormann (2011)、Watling 等人 (2012) 之建議，可根據研究者對臺灣水青岡之先驗知識來優先考量具有生態意義之環境變數，且參考 Randin 等人 (2009) 之報告，刪減相關係數大於 0.9 之變數以降低變數之冗餘 (redundance) 及共線性 (collinearity)，本研究共計使用 7 項環境預測變數 (如表 1)，包括根據 WorldClim (Hijmans *et al.*, 2005) 所計算之溫度季節性 (temperature seasonality, Bio4)、年降水量 (annual precipitation, Bio12)、降水季節性 (precipitation of seasonality, Bio15)，以及潛在蒸發散率 (potential evapotranspiration ratio, PER; Holdridge, 1967)、地形輻射坡向指數 (topographic radiation aspect index, TRAI; Evans, 2011)、溫室指數 (warmth index, WI; Kira, 1991)、全天空域 (whole light sky space, WLS; Lai *et al.*, 2010)，表 2 為此 7 項環境圖層之皮爾森相關係數。同時所有圖層網格及模擬之尺度均統一為 40 m，以避免 scale effect 干擾 (Austin & Van Niel, 2011; Moudrý & Šimová, 2012)。另

因本研究之計算過程十分繁複，且甚為耗費記憶體，為加快運算速度，故以臺灣水青岡分布海拔上下限加減 500 m 為模擬計算區，亦即擷取研究區內海拔 600~2,600 m 之 7 項環境預測變數的圖層 (圖 1)。

(三) 模擬方法與評估指標

自 CRAN 下載 R-3.0.0 及 BIOMOD2-2.1.15 套件 (package)，格式化上述之物種分布點資料及環境預測圖層，執行人工神經網路 (Artificial Neural Networks, ANN)、分類樹分析 (Classification Tree Analysis, CTA)、彈性判別分析 (Flexible Discriminant Analysis, FDA)、廣義加法模型 (Generalised Additive Models, GAM)、廣義助推模型 (Generalised Boosting Model, GBM; or usually called Boosted Regression Trees)、廣義線性模型 (Generalised Linear Models, GLM)、隨機森林 (Breiman and Cutler's Random Forest for classification and regression, RF)、多適迴歸樣條 (Multiple Adaptive Regression Splines, MARS)、最大熵模擬 (MAXimum ENTropy modeling, MAXENT)、表域包絡 (Surface Range Envelope, SRE; or usually called BIOCLIM) 等 10 種模擬方法。於 R 載入 BIOMOD2 套件，接受 BIOMOD_ModelingOptions 之預設，隨機選取 3,000 點做為 pseudo-absences，將物種分布點隨機切分 80% 為建模資料組 (calibrating dataset)，其餘 20% 分布點則做為驗證資料組，重複運行模型 25 次，並以 TSS (True Skill Statistic)、ROC (Receiver Operator Characteristic analysis)、KAPPA (Cohen's Kappa statistic) 這 3 種常用的指標 (Allouche *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2009) 來評估全部 250 個模型 (10 種 SDM 方法，各運行 25 次模擬) 之準確度。

三、結果與討論

(一) 不同 SDM 之表現評估

圖 2 為 BIOMOD2 之 10 種不同 SDM 之表現評估，不同方法的 TSS 評估指標介於 0.63~0.94

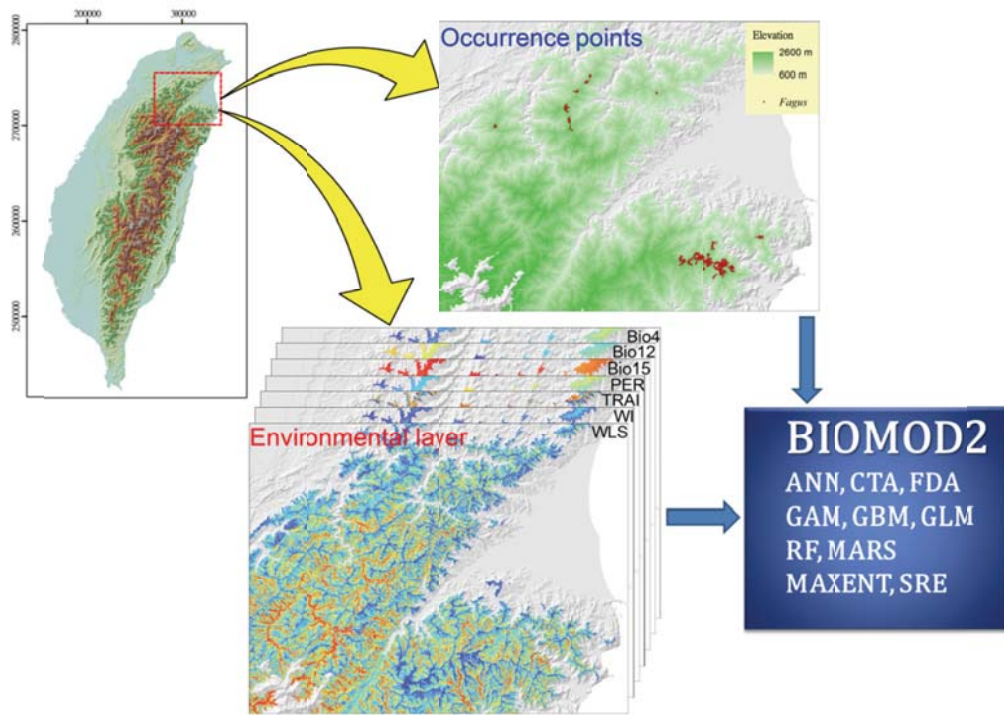


圖1. 研究區及匯入BIOMOD2之物種出現點與環境預測圖層

Fig. 1. Study area and the species occurrence points and environmental predictor layers used in BIOMOD2.

表1. 本研究所使用之7項環境預測變數及其統計摘要

Table 1. Environmental predictor variables used in this study and their statistic summary.

Environmental predictor variables		Min.	Max.	Mean	S.D.
Bio4	溫度季節性 temperature seasonality	333.38	456.53	410.15	22.93
Bio12	年降水量 annual precipitation	2151.76	4691.93	2922.92	536.01
Bio15	降水季節性 precipitation of seasonality	26.40	72.88	58.24	8.51
PER	潛在蒸發散率 potential evapotranspiration ratio	0.19	0.51	0.33	0.06
TRAI	地形輻射坡向指數 topographic radiation aspect index	0.00	1.00	0.48	0.35
WI	溫量指數 warmth index	55.40	173.21	130.94	27.85
WLS	全天光空域 whole light sky space	3366.00	10000.00	8954.45	674.60

(圖2a), ROC介於0.82~0.99 (圖2b), KAPPA介於0.52~0.90 (圖2c)。就各種SDM方法之25次模擬的TSS評估指標平均值而言, 以GAM為0.97最佳, 其次為RF (average TSS = 0.94), 最差者為SRE (average TSS = 0.63); 就ROC評估指標平均值而言, GAM與RF方法皆為0.99最佳, 最差者為SRE (average ROC = 0.82); 就KAPPA評估指標平均值而言, 以GAM方法0.90為最佳, 其次為RF (average KAPPA = 0.86), 最差者為SRE (average KAPPA = 0.52)。

另為了瞭解10種不同SDM方法的差異, 本研究採用ANOVA檢定分析。表3為ANOVA之結果, 由TSS ($F_{(9, 240)} = 164.35, p < 0.01$)、ROC ($F_{(9, 240)} = 242.22, p < 0.01$)、KAPPA ($F_{(9, 240)} = 201.91, p < 0.01$)三種評估指標來看, 顯示10種SDM方法具有顯著性差異; 因此接著進行Scheffe事後檢定, TSS之結果 (表4) 顯示: (1) GAM、RF兩種方法效果皆優於其他8種方法; (2) FDA、SRE都比其他8種方法效果差, 而FDA法又比SRE法效果好; (3) CTA、GBM、MAXENT三種方法效果除了優於FDA與SRE外, 也都優於GLM; (4) ANN、GLM與MARS三種方法效果是相同沒有差異的。ROC之Scheffe事後檢定結果 (表5) 顯示: (1) 10種方法中, 其中的7種方法效果皆優於CTA、FDA與SRE法, 而CTA、FDA與SRE三種方法效果為CTA > FDA > SRE; (2) GAM效果除了優於CTA、FDA與SRE外, 也優於ANN、MARS與GLM; (3) RF方法效果除了優於CTA、FDA與SRE外, 也優於GLM; (4) GBM、ANN、GLM、MAXEN與MARS五種方法彼此之間的效果是相同沒有差異的。KAPPA之Scheffe事後檢定結果 (表6) 顯示: (1) 10種方法中的GAM、RF與MAXENT三種方法效果皆優於其他7種方法, 而GAM又優於MAXENT方法但與RF方法是沒有差異; (2) GLM、SRE都比其他8種方法效果差, 而GLM法又比SRE法效果好; (3) GBM、ANN、FDA、CTA與MARS五種方法彼此之間的效果是相同沒有差異的。最後,

本研究將10種SDM方法以TSS、ROC與KAPPA評估指標各別進行差異分析, 其結果發現 (如表7), 整體而言以GAM、RF、MAXENT方法模擬效果較佳, 而FDA、SRE模擬效果較差。

根據Swets (1988) 之ROC界定標準以及Landis & Koch (1977) 之KAPPA界定標準, 在本研究之10種SDM方法的250個模型中, 除SRE、FAD、GLM的部分模型外, 大多數的模型均屬非常好 (very good; *i.e.*, ROC > 0.9)、出色 (excellent; *i.e.*, KAPPA > 0.75) 的模擬表現 (參見圖2)。且若相較於Segurado & Araújo (2004)、Elith等人 (2006)、Guisan等人 (2007)、Meynard & Quinn (2007)、Tsoar等人 (2007)、Marmion等人 (2009) 等報告, 本研究以TSS、ROC、KAPPA評估10種SDM之模擬表現均屬較佳, 從依存變數來究其原因, 本文之物種分布點資料係取自臺灣水青岡之真實分布, 且為規則化每間隔200 m擷取一點, 故無樣本空間錯誤之干擾 (Graham *et al.*, 2008), 且共取得319個樣本點, 對SDM已是足夠穩定的樣本數量 (Wisz *et al.*, 2008; Hanberry *et al.*, 2012); 另就解釋變數來看, 本研究之環境變數已包含影響植物分布最重要的水熱及地形因子 (Watling *et al.*, 2012; Williams *et al.*, 2012; Dubuis *et al.*, 2013), 例如, 根據Hijmans等人 (2005) 所計算之Bio4、Bio12、Bio15與植物分布關係密切且為眾多研究所利用 (*e.g.*, Loiselle *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2013; Porto *et al.*, 2013), PER及WI發展甚早且仍廣被應用 (*e.g.*, Zhang & Zhang, 2012), TRAI為結合坡度、坡向、日輻射之綜合指標 (Evans, 2011), 另由於臺灣水青岡主要分布於稜脊, 因此由Lai等人 (2010) 所計算之WLS為一個重要的環境預測變數; 此外, 許多研究 (*e.g.*, Guisan *et al.*, 2007) 也顯示具有窄且特定生態棲位之物種, 其SDM模擬結果會較理想。綜合以上, 本文以足夠且無偏差的臺灣水青岡分布點資料, 以及7項與臺灣水青岡分布相關的環境因子, 將有助於TSS、ROC、KAPPA等模擬評估指標之提高,

且本研究固定了SDM之依存變數及解釋變數，也有助於對SDM之不同方法模擬成效的比較。

(二) 不同SDM之預測結果

圖2為臺灣水青岡模擬結果之評估統計的面向，仍待實際繪製臺灣水青岡之出現機率或所謂的生育地適宜指數 (habitat suitable index) 以促使吾人在視覺上對其分布之理解，並有助於模擬結果之後續應用。圖3為10種物種分布模擬方法所預測之臺灣水青岡出現機率圖，為便於比較各方法之結果，已將出現機率劃分為10等分，並標示出取自國家植群圖之臺灣水青岡分布範圍 (黑色多邊形)。由圖3可知各種模擬方法所得之概觀的分布樣式是一致的，主要分布在插天山及銅山之稜線附近，然不同方法所得之延伸範圍及其機率值則多少具有差異，其中，SRE之結果為二元的 (binary)，亦即僅顯示出現或不出現 (1 or 0)，預測準確度亦較差，其餘9種方法均為連續性機率圖，預測準確度較SRE為佳 (如圖2)。

以下為10種SDM方法所預測之臺灣水青岡出現機率的統計摘要，其中，ANN預測臺灣水青岡之出現機率介於0.001 ~ 0.986，平均數及標準差為0.071 ± 0.224，CTA預測機率介於0.005 ~ 0.964，平均數及標準差為0.062 ± 0.224，FDA預測機率介於0.196 ~ 1.000，平均數及標準差為0.230 ± 0.109，GAM預測機率

介於0.002 ~ 0.988，平均數及標準差為0.049 ± 0.197，GBM預測機率介於0.010 ~ 0.988，平均數及標準差為0.086 ± 0.210，GLM預測機率介於0.018 ~ 0.968，平均數及標準差為0.132 ± 0.260，RF預測機率介於0.000 ~ 1.000，平均數及標準差為0.018 ± 0.134，MARS預測機率介於0.000 ~ 1.000，平均數及標準差為0.121 ± 0.179，MAXENT預測機率介於0.009 ~ 1.000，平均數及標準差為0.070 ± 0.193，SRE預測機率介於0.000 ~ 1.000，平均數及標準差為0.081 ± 0.273。以模擬區之臺灣水青岡平均預測機率而言，為FDA > GLM > MARS > GBM > SRE > ANN > MAXENT > CTA > GAM > RF，唯研究者對不同SDM方法所得之結果，最好抱持多方參考之態度，並配合模擬結果之評估 (圖2) 使用，因為沒有那一種方法對所有的物種預測都是最好的 (Elith *et al.*, 2006; Ashcroft *et al.*, 2011)。

在應用SDM之結果時，有時需要的是物種會出現或不出現於何處的分布圖，而不是預測分布機率的圖；此一步驟須要決定某一機率值為門檻 (threshold)，藉以將連續的機率圖轉換為二元的出現或不出現，亦即當預測機率高於此一門檻則判定為物種出現，若預測機率低於此一門檻則判定為物種不出現。目前已十餘種方式來決定此一門檻值 (*e.g.*, Liu *et al.*,

表2. 本研究所使用之7項環境預測變數的皮爾森相關係數

Table 2. Pearson's correlation coefficient of 7 environmental variables used in this study.

	Bio4	Bio12	Bio15	PER	TRAI	WI	WLS
Bio4		0.204	-0.152	0.544	0.002	0.878	0.009
Bio12	0.204		0.128	-0.615	0.013	0.419	0.167
Bio15	-0.152	0.128		-0.089	0.035	-0.028	-0.079
PER	0.544	-0.615	-0.089		-0.009	0.440	-0.203
TRAI	0.002	0.013	0.035	-0.009		0.011	0.187
WI	0.878	0.419	-0.028	0.440	0.011		-0.028
WLS	0.009	0.167	-0.079	-0.203	0.187	-0.028	

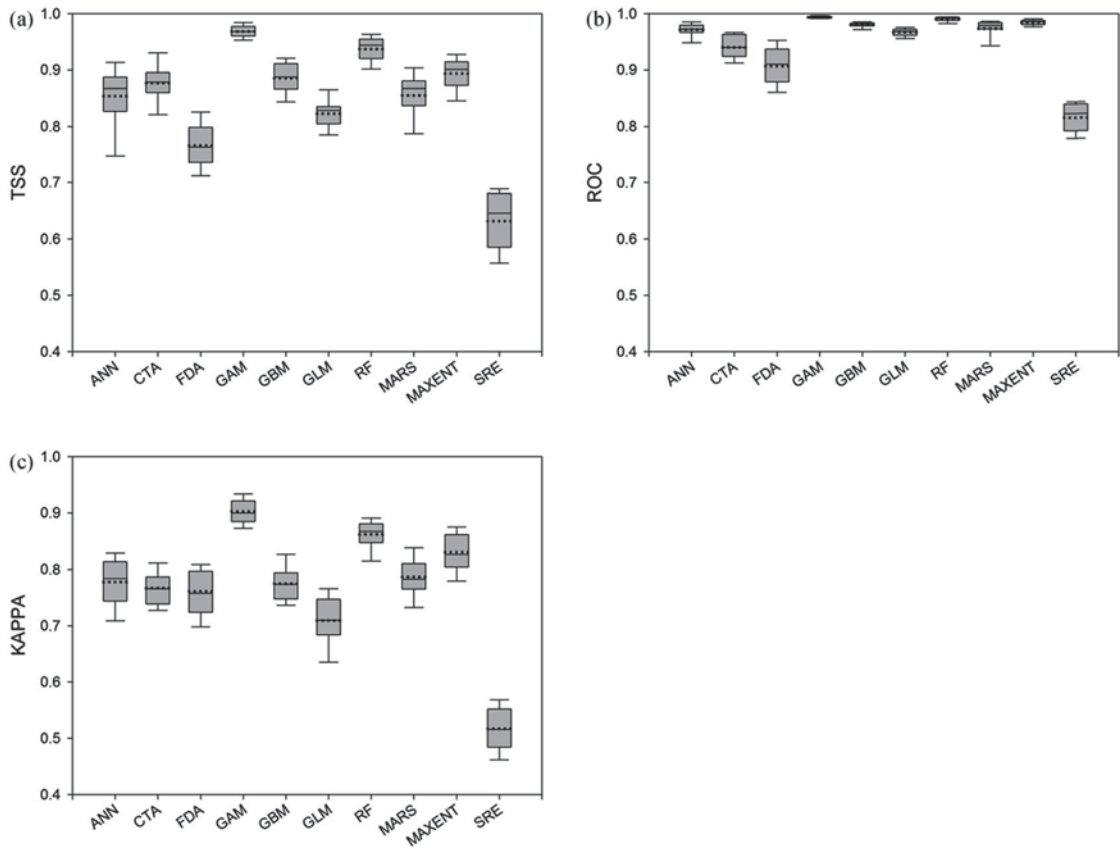


圖2. 以 (a) TSS、(b) ROC、(c) KAPPA評估指標比較10種不同物種分布模擬之表現(盒形圖中之點狀線為各種模擬方法之平均值)

Fig. 2. Using (a) TSS, (b) ROC, and (c) KAPPA to compare the performances of 10 SDM methods. The dotted lines among the box-plots represent their mean value respectively.

2005)，近來有些研究建議採用特異度及敏感度最大和 (maximum of the sum of specificity and sensitivity) 的門檻選擇準則 (Jimenez-Valverde & Lobo 2007; Liu *et al.*, 2013)，有關判定物種出現或不出現之門檻選擇準則為SDM另一研究議題，本文不擬深入探討，值得注意的是傳統上以機率0.5為門檻來切分為物種出現或不出現並非理想的選擇。

直覺上本研究之物種樣本點係取自現今之臺灣水青岡分布範圍，故SDM預測結果應與現今分布範圍完全一致，亦即圖3之模擬機率應該相同於黑色多邊形所標示之臺灣

水青岡分布，然就SDM之理論而言，SDM係基於地理空間 (geographic space) 之物種分布點與環境預測圖層，將之轉換於環境空間 (environmental space) 建立物種－環境關係，再將此量化關係投射回地理空間進行該物種潛在分布之預測 (Pearson, 2007)；此一概念簡言之，物種樣本點是來自於物種之真實分布 (actual distribution)，代表著佔領的或真實的生態棲位 (occupied or realized niche)，而SDM預測之結果則代表著物種之潛在分布 (potential distribution)、基本生態棲位 (fundamental niche)，亦即由環境因子所預測的非生物控制

之適宜區 (abiotically suitable area) (Araújo & Peterson, 2012)；二者之主要差異為，基本生態棲位是由物種能忍受之環境因子所定義，而真實生態棲位除受環境控制外，亦受生物間交互作用、散播能力、地理阻隔等因素影響 (Sangermano & Eastman, 2012)，而常為基本生態棲位之一子集 (subset)。將此一概念應用於本文之臺灣水青岡分布模擬，圖3所模擬之結果可視為臺灣水青岡之潛在分布區，而以黑線標示之臺灣水青岡現今範圍則為真實分布區，可能係受人為干擾 (如伐木)、生物間交互作用 (如常綠闊葉樹競爭)、地理阻隔 (僅於稜線附近) 等因素而侷限。

(三) BIOMOD2之整體模擬

在BIOMOD2可對不同SDM方法所得之結果進行整體模擬 (ensemble modeling)，由於TSS指標之模型準確性評估較ROC與KAPPA更穩健 (Allouche *et al.*, 2006; Lobo *et al.*, 2008)，因此本研究以TSS > 0.8為準則，選取預測準確度大於此門檻值之模擬結果加以計算。圖4為臺灣水青岡分布之整體模擬圖，主要被結合的圖層係來自ANN、CTA、GAM、GBM、GLM、RF、MARS、MAXENT之模擬結果，因此整體模擬圖可謂為這些預測較佳之模擬結

果的綜合體，此一目的是為了不偏頗於某一種模擬方法之結果，以盡可能地減少個別模型的誤差，而採用統計評估表現較好的SDM來模型進行整體模擬 (*e.g.*, Engler *et al.*, 2011; Leroy *et al.*, 2013)。由圖4之整體模擬圖，可知現今之臺灣水青岡分布多位於整體預測機率0.7以上之範圍，顯示整體預測具有相當之實用性，在圖4亦可看出，在臺灣水青岡分布之附近仍有許多整體預測機率較低的區域，接近於基本生態棲位，而可能為其潛在分布的適宜區。此外，原先臺灣水青岡被認為僅現存於插天山一帶，直至2004年陳子英之報告才記錄在銅山附近的廣大族群分布，翁仁憲等(2004)也在鳥嘴山發現小族群，顯示SDM整體模擬應用在發現新族群之可能性(Araujo & Peterson, 2012)。

目前政府間氣候變遷委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)之第四次評估報告(AR4)已肯定近幾十年來地球氣候變暖的真實性，過去百年全球表面溫度平均上升 $0.74^{\circ}\text{C} \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ ，且持續增溫中 (IPCC, 2007)，柳中明等 (2008) 也指出未來臺灣之氣溫上升乃是必然的，且與AR4結論相似地，近30年 (1980 ~ 2009) 臺灣氣溫的增加速率明顯加快，幾乎是百年趨勢值的2倍，推估21世紀

表3. 10種SDM方法之TSS、ROC、KAPPA評估指標的ANOVA分析

Table 3. Analysis of variance (ANOVA) for 10 SDM methods based on TSS, ROC, and KAPPA index.

Evaluation index		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TSS	Between Groups	2.02	9	0.22	164.35	0.00
	Within Groups	0.33	240	0.00		
	Total	2.35	249			
ROC	Between Groups	0.67	9	0.07	242.22	0.00
	Within Groups	0.07	240	0.00		
	Total	0.74	249			
KAPPA	Between Groups	2.48	9	2.72	201.91	0.00
	Within Groups	0.32	240	0.00		
	Total	2.77	249			

表4. 10種SDM方法TSS評估指標之Scheffe事後比較

Table 4. Scheffe's posterior comparison for TSS index among 10 SDM methods.

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
ANN	FDA	0.08760(*)	0.000	0.0442	0.1310
	GAM	-0.11320(*)	0.000	-0.1566	-0.0698
	RF	-0.08320(*)	0.000	-0.1266	-0.0398
	SRE	0.22240(*)	0.000	0.1790	0.2658
CTA	FDA	0.11200(*)	0.000	0.0686	0.1554
	GAM	-0.08880(*)	0.000	-0.1322	-0.0454
	GLM	0.05640(*)	0.001	0.0130	0.0998
	RF	-0.05880(*)	0.000	-0.1022	-0.0154
	SRE	0.24680(*)	0.000	0.2034	0.2902
FDA	GAM	-0.20080(*)	0.000	-0.2442	-0.1574
	GBM	-0.11880(*)	0.000	-0.1622	-0.0754
	GLM	-0.05560(*)	0.001	-0.0990	-0.0122
	RF	-0.17080(*)	0.000	-0.2142	-0.1274
	MARS	-0.08840(*)	0.000	-0.1318	-0.0450
	MAXENT	-0.12720(*)	0.000	-0.1706	-0.0838
	SRE	0.13480(*)	0.000	0.0914	0.1782
GAM	GBM	0.08200(*)	0.000	0.0386	0.1254
	GLM	0.14520(*)	0.000	0.1018	0.1886
	MARS	0.11240(*)	0.000	0.0690	0.1558
	MAXENT	0.07360(*)	0.000	0.0302	0.1170
	SRE	0.33560(*)	0.000	0.2922	0.3790
GBM	GLM	0.06320(*)	0.000	0.0198	0.1066
	RF	-0.05200(*)	0.004	-0.0954	-0.0086
	SRE	0.25360(*)	0.000	0.2102	0.2970
GLM	RF	-0.11520(*)	0.000	-0.1586	-0.0718
	MAXENT	-0.07160(*)	0.000	-0.1150	-0.0282
	SRE	0.19040(*)	0.000	0.1470	0.2338
RF	MARS	0.08240(*)	0.000	0.0390	0.1258
	MAXENT	0.04360(*)	0.048	0.0002	0.0870
	SRE	0.30560(*)	0.000	0.2622	0.3490
MARS	SRE	0.22320(*)	0.000	0.1798	0.2666
MAXENT	SRE	0.26200(*)	0.000	0.2186	0.3054

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

表5. 10種SDM方法ROC評估指標之Scheffe事後比較

Table 5. Scheffe's posterior comparison for ROC index among 10 SDM methods.

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
ANN	CTA	0.03120(*)	0.000	0.0106	0.0518
	FDA	0.06480(*)	0.000	0.0442	0.0854
	GAM	-0.02240(*)	0.018	-0.0430	-0.0018
	SRE	0.15600(*)	0.000	0.1354	0.1766
CTA	FDA	0.03360(*)	0.000	0.0130	0.0542
	GAM	-0.05360(*)	0.000	-0.0742	-0.0330
	GBM	-0.03880(*)	0.000	-0.0594	-0.0182
	GLM	-0.02600(*)	0.002	-0.0466	-0.0054
	RF	-0.04880(*)	0.000	-0.0694	-0.0282
	MARS	-0.03240(*)	0.000	-0.0530	-0.0118
	MAXENT	-0.04400(*)	0.000	-0.0646	-0.0234
	SRE	0.12480(*)	0.000	0.1042	0.1454
FDA	GAM	-0.08720(*)	0.000	-0.1078	-0.0666
	GBM	-0.07240(*)	0.000	-0.0930	-0.0518
	GLM	-0.05960(*)	0.000	-0.0802	-0.0390
	RF	-0.08240(*)	0.000	-0.1030	-0.0618
	MARS	-0.06600(*)	0.000	-0.0866	-0.0454
	MAXENT	-0.07760(*)	0.000	-0.0982	-0.0570
	SRE	0.09120(*)	0.000	0.0706	0.1118
GAM	GLM	0.02760(*)	0.001	0.0070	0.0482
	MARS	0.02120(*)	0.036	0.0006	0.0418
	SRE	0.17840(*)	0.000	0.1578	0.1990
GBM	SRE	0.16360(*)	0.000	0.1430	0.1842
GLM	RF	-0.02280(*)	0.015	-0.0434	-0.0022
	SRE	0.15080(*)	0.000	0.1302	0.1714
RF	SRE	0.17360(*)	0.000	0.1530	0.1942
MARS	SRE	0.15720(*)	0.000	0.1366	0.1778
MAXENT	SRE	0.16880(*)	0.000	0.1482	0.1894

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

表6. 10種SDM方法KAPPA評估指標之Scheffe事後比較

Table 6. Scheffe's posterior comparison for KAPPA index among 10 SDM methods.

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
ANN	GAM	-0.12480(*)	0.000	-0.1679	-0.0817
	GLM	0.06720(*)	0.000	0.0241	0.1103
	RF	-0.08560(*)	0.000	-0.1287	-0.0425
	MAXENT	-0.05360(*)	0.002	-0.0967	-0.0105
	SRE	0.26040(*)	0.000	0.2173	0.3035
CTA	GAM	-0.13520(*)	0.000	-0.1783	-0.0921
	GLM	0.05680(*)	0.001	0.0137	0.0999
	RF	-0.09600(*)	0.000	-0.1391	-0.0529
	MAXENT	-0.06400(*)	0.000	-0.1071	-0.0209
	SRE	0.25000(*)	0.000	0.2069	0.2931
FDA	GAM	-0.14040(*)	0.000	-0.1835	-0.0973
	GLM	0.05160(*)	0.005	0.0085	0.0947
	RF	-0.10120(*)	0.000	-0.1443	-0.0581
	MAXENT	-0.06920(*)	0.000	-0.1123	-0.0261
	SRE	0.24480(*)	0.000	0.2017	0.2879
GAM	GBM	0.12640(*)	0.000	0.0833	0.1695
	GLM	0.19200(*)	0.000	0.1489	0.2351
	MARS	0.11440(*)	0.000	0.0713	0.1575
	MAXENT	0.07120(*)	0.000	0.0281	0.1143
	SRE	0.38520(*)	0.000	0.3421	0.4283
GBM	GLM	0.06560(*)	0.000	0.0225	0.1087
	RF	-0.08720(*)	0.000	-0.1303	-0.0441
	MAXENT	-0.05520(*)	0.001	-0.0983	-0.0121
	SRE	0.25880(*)	0.000	0.2157	0.3019
GLM	RF	-0.15280(*)	0.000	-0.1959	-0.1097
	MARS	-0.07760(*)	0.000	-0.1207	-0.0345
	MAXENT	-0.12080(*)	0.000	-0.1639	-0.0777
	SRE	0.19320(*)	0.000	0.1501	0.2363
RF	MARS	0.07520(*)	0.000	0.0321	0.1183
	SRE	0.34600(*)	0.000	0.3029	0.3891
MARS	MAXENT	-0.04320(*)	0.049	-0.0863	-0.0001
	SRE	0.27080(*)	0.000	0.2277	0.3139
MAXENT	SRE	0.31400(*)	0.000	0.2709	0.3571

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

表7. 依TSS、ROC、KAPPA指標評估10種SDM之最佳與最差模擬方法

Table 7. The best and worst SDM methods based on TSS, ROC, and KAPPA evaluation.

Evaluaton index	Best SDM methods	Worst SDM methods
TSS	GAM, RF	FDA, SRE
ROC	GAM, RF	CTA, FDA, SRE
KAPPA	GAM, RF, MAXENT	GLM, SRE

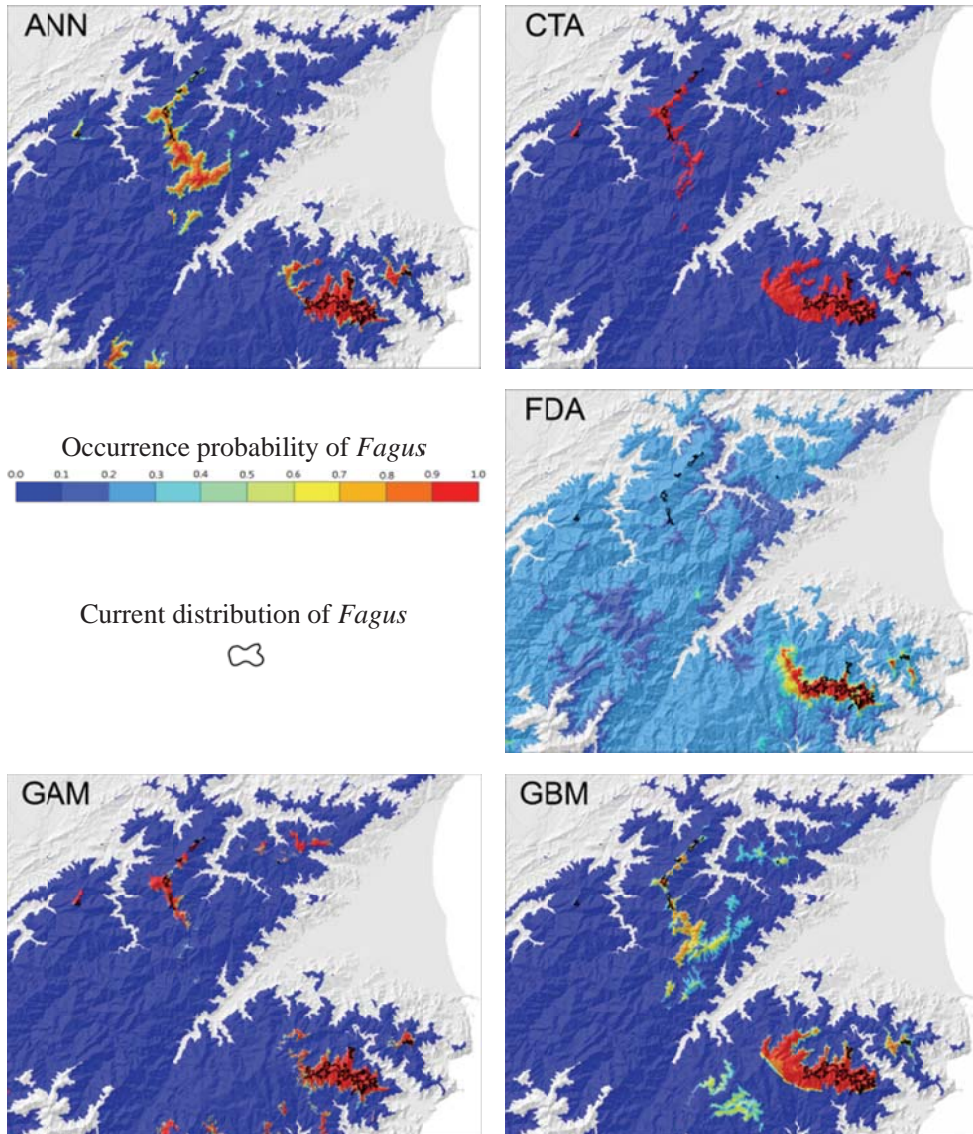


圖3. 十種物種分布模擬方法所預測之臺灣水青岡出現機率圖

Fig. 3. The occurrence probability maps of *Fagus hayatae* predicted by 10 species distribution modeling methods.

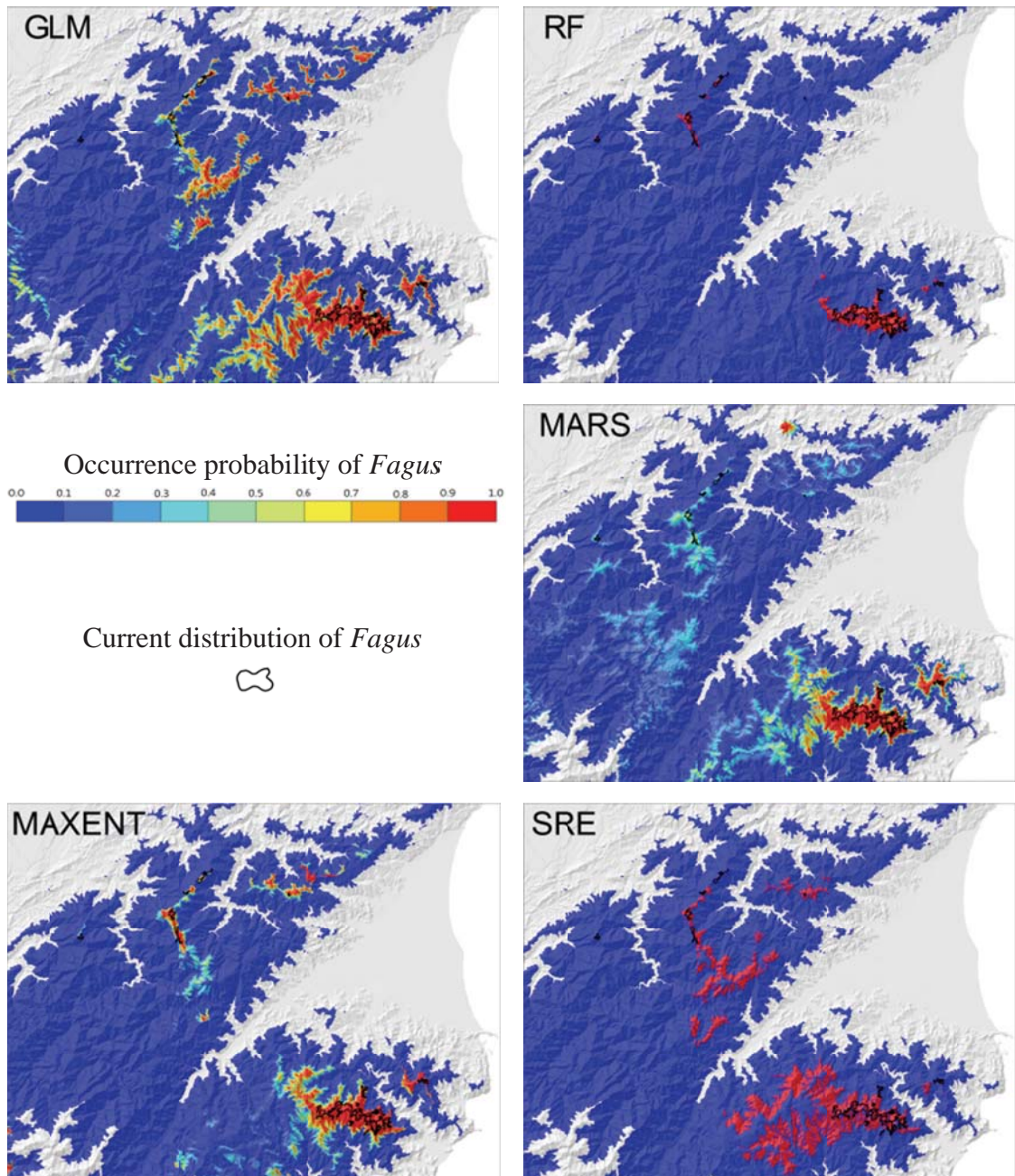


圖3 (續). 十種物種分布模擬方法所預測之臺灣水青岡出現機率圖

Fig. 3 (continued). The occurrence probability maps of *Fagus hayatae* predicted by 10 species distribution modeling methods.

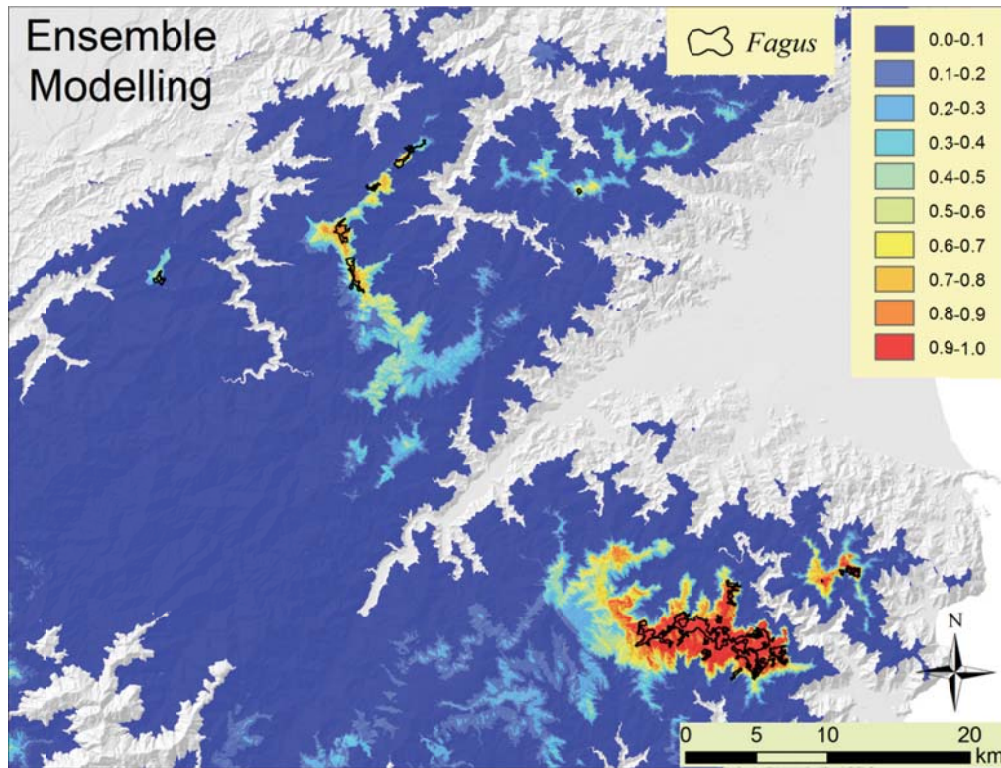


圖4. 臺灣水青岡分布區之BIOMOD2整體模擬

Fig. 4. Ensemble modeling distribution of *Fagus hayatae* by BIOMOD2.

末臺灣地區的溫度上升幅度介於 $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$ (許晃雄等, 2011)。圖4之整體模擬可解讀為臺灣水青岡之適宜生境機率圖，顯示其偏好在稜線附近，在未來臺灣氣候暖化之情境下，臺灣水青岡將無法往更高海拔移動，因此未來有必要對臺灣水青岡在全臺之適宜生境進一步加以預測，並評估氣候變遷對其之可能影響 (e.g., Morin & Thuiller, 2009; Franklin *et al.*, 2013)，以做為物種移地保育之科學參考依據。

四、結論

SDM是具有多種不同面向之應用潛力的工具，目前已有許多量化物種—環境關係的模擬方法，2012年才發表的BIOMOD2是一個可同時提供ANN、CTA、FDA、GAM、GBM、GLM、RF、MARS、MAXENT、SRE等10種

常見的SDM方法之平臺，本文以臺灣水青岡為模擬目標，順利以10種SDM方法預測其潛在分布範圍，以TSS等指標評估其表現，並繪製分布機率圖提供不同方法之模擬結果比較，不同模擬方法所得之結果大致上均能符合臺灣水青岡之真實分布，且方法間概觀的空間樣式是一致的，同時BIOMOD2可對預測較佳之模型加以綜合，進行整體模擬以減少個別模型的誤差，藉由臺灣水青岡現今分布與潛在適合生育地之差異，未來有助於探討其與常綠闊葉樹之競爭、氣候變遷影響等問題。

臺灣水青岡這一已知分布的樹種是十分難得的研究材料，因其可完全排除物種樣本空間錯誤的不確定性及其對SDM之嚴重影響 (Graham *et al.*, 2008)，未來我們也將利用此一材料進行環境預測因子刪減程序 (Williams *et*

al., 2012)、物種分布點樣本大小 (Wisz *et al.*, 2008)、時間及空間移轉性 (Randin *et al.*, 2006; Franklin *et al.*, 2013) 等研究，逐步建立SDM在本地應用的基礎。

五、引用文獻

王文巧 (2011) 運用GIS物種分布模型預測珍稀瀕危植物蘇鐵蕨之空間型態。國立中興大學森林學系碩士論文。

邱宗儀 (2008) 宜蘭縣南澳河流域之植群分類與製圖。國立宜蘭大學自然資源學系碩士論文。

邱清安 (1996) 插天山自然保留區植相與植群之研究。國立中興大學森林學研究所碩士論文。

柳中明、吳明進、林淑華、陳盈蓁、楊胤庭、林瑋翔、曾于恆、陳正達 (2008) 臺灣地區未來氣候變遷預估。行政院國家科學研究委員會，臺北市。

翁仁憲、黃士元、廖天賜 (2004) 珍貴稀有植物-臺灣水青岡。自然保育季刊 46 : 24-32。

張鈺敏 (2008) 最大熵物種分布模式應用於臺灣十種樹種之可轉移性研究。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。

曹立松 (2006) 應用廣義加法模式建構六種臺灣針葉樹物種分布範圍與氣候因子之關係。國立臺灣大學森林環境暨資源學研究所碩士論文。

許晃雄、吳宜昭、周佳、陳正達、陳永明、盧孟明 (2011) 臺灣氣候變遷科學報告2011。行政院國家科學委員會，臺北市。

陳子英 (2004) 銅山地區山毛櫸林植物資源調查 (1/2)。林務局保育研究系列第92-7號。

陳子英 (2005) 銅山地區山毛櫸林植物資源調查 (2/2)。林務局保育研究系列第93-6號。

劉棠瑞、蘇鴻傑 (1972) 北插天山夏綠林群落之研究。省立博物館科學年刊 15 : 1-16。

Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006)

Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology* 43: 1223-1232.

Araujo, M. B., & Peterson, A. T. (2012) Uses and misuses of bioclimatic envelope modelling. *Ecology* 93: 1527-1539.

Ashcroft, M. B., French, K. O., & Chisholm, L. A. (2011) An evaluation of environmental factors affecting species distributions. *Ecological Modelling* 222: 524-531.

Austin, M. P., & Van Niel, K. P. (2011) Improving species distribution models for climate change studies: variable selection and scale. *Journal of Biogeography* 38: 1-8.

Beyer, H. L. (2012) Geospatial Modelling Environment. Available at: <http://www.spatial ecology.com>

Chiou, C. R., Hsieh, C. F., Wang, J. C., Chen, M. Y., Liu, H. Y., Yeh, C. L., Yang, S. Z., Chen, T. Y., Hsia, Y. J., & Song, G. Z. M. (2009) The first national vegetation inventory in Taiwan. *Taiwan Journal of Forest Science* 24: 295-302.

Dormann, C. F. (2011) Modelling Species' Distributions. In: Jopp, F., Reuter, H., & Breckling, B. (eds) *Modelling Complex Ecological Dynamics: An Introduction into Ecological Modelling for Students, Teachers & Scientists*. Springer, Berlin. pp. 179-196.

Dubuis, A., Giovanettina, S., Pellissier, L., Pottier, J., Vittoz, P., & Guisan, A. (2013) Improving the prediction of plant species distribution and community composition by adding edaphic to topo-climatic variables. *Journal of Vegetation Science* doi: 10.1111/jvs.12002.

Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009) Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time.

Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 40:677-697.

- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, G., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. M., Peterson, A. T., Phillips, S. J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M. S., & Zimmermann, N. E. (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudik, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17: 43-57.
- Engler, R., Randin, C. F., Thuiller, W., Dullinger, S., Zimmermann, N. E., Araújo, M. B., Pearman, P. B., Le Lay, G., Piedallu, C., Albert, C. H., Choler, P., Coldea, G., De Lamo, X., Dirnböck, T., Gégout, J.-C., Gómez-García, D., Grytnes, J.-A., Heegaard, E., Høistad, F., Nogués-Bravo, D., Normand, S., Puşcaş, M., Sebastià, M.-T., Stanisci, A., Theurillat, J.-P., Trivedi, M. R., Vittoz, P., & Guisan, A. (2011). 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology* 17: 2330-2341.
- Evans, J. (2011) ArcGIS – Geomorphometry and Gradient Metrics Toolbox. Available at: <http://conserveonline.org/workspaces/ent/documents/arcgis-geomorphometrics-toolbox/view.html>
- Feeley, K. J., & Silman, M. R. (2011) Keep collecting: accurate species distribution modelling requires more collections than previously thought. *Diversity and Distributions* 17:1132-1140.
- Franklin, J. (2009) Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction. Cambridge University Press, New York.
- Franklin, J., Davis, F. W., Ikegami, M., Syphard, A. D., Flint, L. E., Flint, A. L., & Hannah, L. (2013) Modeling plant species distributions under future climates: how fine scale do climate projections need to be? *Global Change Biology* 19: 473-483.
- Graham, C. H., Elith, J., Hijmans, R. J., Guisan, A., Townsend Peterson, A., & Loiselle, B. A. (2008) The influence of spatial errors in species occurrence data used in distribution models. *Journal of Applied Ecology* 45: 239-247.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000) Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.
- Guisan, A., Zimmermann, N. E., Elith, J., Graham, C. H., Phillips, S., & Peterson, A. T. (2007) What matters for predicting the occurrences of trees: techniques, data, or species' characteristics? *Ecological Monographs* 77: 615-630.
- Hanberry, B. B., He, H. S., & Dey, D. C. (2012) Sample sizes and model comparison metrics for species distribution models. *Ecological Modelling* 227: 29-33.
- Heikkinen, R. K., Luoto, M., Araújo, M. B., Virkkala, R., Thuiller, W., & Sykes, M. T. (2006) Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography* 30: 751-777.
- Hernandez, P. A., Graham, C. H., Master, L. L., &

- Albert, D. L. (2006) The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29: 773-785.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Holdridge, L. R. (1967) *Life Zone Ecology*. Tropical Science Center, San Jose, Costa Rica.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]. (2007) *Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York.
- Jiménez-Valverde, A., & Lobo, J. M. (2007) Threshold criteria for conversion of probability of species presence to either-or presence-absence. *Acta Oecologica* 31: 361-369.
- Kira, T. (1991) Forest ecosystems of east and southeast Asia in a global perspective. *Ecological Research* 6: 185-200.
- Lai, Y. J., Chou, M. D., & Lin P. H. (2010) Parameterization of topographic effect on surface solar radiation. *Journal of Geophysical Research* 115: D01104.
- Landis, J.R., & Koch, G.C. (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33: 159-174.
- Leroy, B., Paschetta, M., Canard, A., Bakkenes, M., Isaia, M., & Ysnel, F. (2013) First assessment of effects of global change on threatened spiders: Potential impacts on *Dolomedes plantarius* (Clerck) and its conservation plans. *Biological Conservation* 161: 155-163.
- Liu, C., Berry, P. M., Dawson, T. P., & Pearson, R. G. (2005) Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography* 28: 385-393.
- Liu, C., White, M., & Newell, G. (2009) Measuring the accuracy of species distribution models: a review. In: Anderssen, R. S., Braddock, R. D., & Newham, L. T. H. (eds), 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand and International Association for Mathematics and Computers in Simulation, July 2009. pp. 4241-4247.
- Liu, C., White, M., & Newell, G. (2013) Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. *Journal of Biogeography* 40: 778-789.
- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A. & Real, R. (2008) AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* 17: 145-151.
- Loiselle, B. A., Jørgensen, P. M., Consiglio, T., Jiménez, I., Blake, J. G., Lohmann, L. G., & Montiel, O. M. (2008) Predicting species distributions from herbarium collections: does climate bias in collection sampling influence model outcomes? *Journal of Biogeography* 35: 105-116.
- Marmion, M., Parviainen, M., Luoto, M., Heikkinen, R. K., & Thuiller, W. (2009) Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and Distributions* 15: 59-69.
- Meynard, C. N., & Quinn, J. F. (2007) Predicting

- species distributions: a critical comparison of the most common statistical models using artificial species. *Journal of Biogeography* 34: 1455-1469.
- Morin, X., & Thuiller, W. (2009) Comparing niche-and process-based models to reduce prediction uncertainty in species range shifts under climate change. *Ecology* 90: 1301-1313.
- Moudrý, V., & Šímová, P. (2012) Influence of positional accuracy, sample size and scale on modelling species distributions: a review. *International Journal of Geographical Information Science* 26: 2083-2095.
- Newbold, T. (2010) The Value of Species Distribution Models as a Tool for Conservation and Ecology in Egypt and Britain. Dissertation, University of Nottingham.
- Pearson, R. G. (2007) Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners. Synthesis. American Museum of Natural History. Available at <http://ncep.amnh.org>.
- Peterson, A. T., & Soberón, J. (2012) Integrating fundamental concepts of ecology, biogeography, and sampling into effective ecological niche modeling and species distribution modeling. *Plant Biosystems* 146: 789-796.
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008) Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling* 190: 231-259.
- Porto, T. J., Carnaval, A. C., & da Rocha, P. L. B. (2013) Evaluating forest refugial models using species distribution models, model filling and inclusion: a case study with 14 Brazilian species. *Diversity and Distributions* 19: 330-340.
- Randin, C. F., Dirnböck, T., Dullinger, S., Zimmermann, N. E., Zappa, M., & Guisan, A. (2006) Are niche-based species distribution models transferable in space? *Journal of Biogeography* 33: 1689-1703.
- Randin, C. F., Vuissoz, G., Liston, G. E., Vittoz, P., & Guisan, A. (2009) Introduction of snow and geomorphic disturbance variables into predictive models of alpine plant distribution in the Western Swiss Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 41: 347-361.
- Robinson, L. M., Elith, J., Hobday, A. J., Pearson, R. G., Kendall, B. E., Possingham, H. P., & Richardson, A. J. (2011) Pushing the limits in marine species distribution modelling: lessons from the land present challenges and opportunities. *Global Ecology and Biogeography* 20: 789-802.
- Sangermano, F., & Eastman, J. R. (2012) A GIS framework for the refinement of species geographic ranges. *International Journal of Geographical Information Science* 26:39-55.
- Segurado, P., & Araújo, M. B. (2004) An evaluation of methods for modelling species distributions. *Journal of Biogeography* 31: 1555-1568.
- Swets, J. A. (1988) Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240: 1285-1293.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M. B. (2009) BIOMOD – A platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography* 32: 369-373.
- Tsoar, A., Allouche, O., Steinitz, O., Rotem, D., & Kadmon, R. (2007) A comparative

- evaluation of presence-only methods for modelling species distribution. *Diversity and Distributions* 13: 397-405.
- Watling, J. I., Romañach, S. S., Bucklin, D. N., Speroterra, C., Brandt, L. A., Pearlstine, L. G., & Mazzotti, F. J. (2012) Do bioclimate variables improve performance of climate envelope models? *Ecological Modelling* 246:79-85.
- Williams, K. J., Belbin, L., Austin, M. P., Stein, J. L., & Ferrier, S. (2012) Which environmental variables should I use in my biodiversity model? *International Journal of Geographical Information Science* 26: 2009-2047.
- Wisz, M. S., Hijmans, R. J., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C. H., & Guisan, A. (2008) Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions* 14: 763-773.
- Yang, X. Q., Kushwaha, S. P. S., Saran, S., Xu, J., & Roy, P. S. (2013) Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological Engineering* 51: 83-87.
- Zhang, Q., & Zhang, X. (2012) Impacts of predictor variables and species models on simulating *Tamarix ramosissima* distribution in Tarim Basin, northwestern China. *Journal of Plant Ecology* 5: 337-345.

