

研究報告

樣本數量對最大熵物種分布模式 (MaxEnt) 準確度之影響：以臺灣水青岡爲例

江鴻猷¹ 曾喜育¹ 邱清安^{2,*} 曾彥學¹

【摘要】物種分布模擬的準確度除了因物種、模擬方法、解釋變數和研究尺度等因子而有所差異外，亦受到樣本數量的影響。本研究以不同樣本數量之臺灣水青岡 (*Fagus hayatae*) 分布點及8項環境預測變數爲材料，以MaxEnt爲物種分布模擬方法，利用AUC、TSS、Kappa評估模擬成效，藉以比較不同樣本數量所建構之模擬的差異。結果顯示以40 m間距對臺灣水青岡分布區等距取樣，可獲取1 ~ 8,014個樣本點。隨著樣本數量增加，MaxEnt模擬準確度也隨之增加，直至達到最大準確度後趨於緩和，其原因爲建構模擬的環境變數估計值會隨樣本數量的增加而減少其不確定性；但根據AUC指標顯示，過量的樣本 (如2,008、8,014點) 會使模擬準確度略爲下降，另一方面本研究也顯示部分小樣本 (10點以下) 建構的模擬亦表現良好，證實小樣本在特定的取樣條件下，仍可建立具有可信度的模擬；以本文模擬臺灣水青岡分布爲例，35 ~ 99個無空間偏差之物種出現點應是合宜的樣本數量。評估模擬表現之3種指標並不一致，其中Kappa明顯受到普及率之影響，並不適用於評估樣本數量對物種分布模擬之影響。

【關鍵詞】物種分布模擬、臺灣水青岡、MaxEnt、樣本數量、準確度、普及率

Research paper

Effects of Sample Size on Accuracy of MaxEnt: A Case Study of *Fagus hayatae*

Hong-You Jiang¹ Hsy-Yu Tzeng¹ Ching-An Chiu^{2,3} Yen-Hsueh Tseng¹

【Abstract】The accuracy of species distribution modeling (SDM) is affected not only by species, modeling method and scale, and environmental predictor, but also by sample size. In this study, we extracted gradually the occurrence data of *Fagus hayatae* together with 8 environmental predictors to evaluate the effect of sample size on MaxEnt through AUC, TSS and Kappa index. The results showed that there are 1 ~ 8,014 occurrence points extracted gradually from *F. hayatae* distribution area through 40 m arithmetic series

1. 國立中興大學森林學系。

Department of Forestry, National Chung-Hsing University.

2. 國立中興大學實驗林管理處。

Experimental Forest, National Chung-Hsing University.

* 通訊作者，40227臺中市國光路250號

Corresponding Author. 250 Kuokwang Rd., Taichung 40227, Taiwan ; E-mail: cachiou@nchu.edu.tw

of sampling scale. The accuracy of MaxEnt increased with enlarging sample size gradually, accompanied by decreasing uncertainty, until it reached the maximum value of AUC, TSS and Kappa indices. However, based on AUC index, the exaggerated sample size such as 2,008 and 8,014 points led to a lightly reduction of MaxEnt accuracy. On the other hand, some cases using small sample size (less than 10 points) for SDM also performed well. The result represented that small sample size from a specific sampling condition could provide a reliable modeling. In the case study for modeling *F. hayatae* distribution, 35 ~ 99 occurrence points unbiased spatially of sample size was appropriate. AUC, TSS and Kappa were inconsistent for evaluating the SDM performance. Because Kappa was sensitive to the prevalence, it was not an applicable index to evaluate the effect of sample size on SDM accuracy.

【**Key words**】 species distribution modeling (SDM), *Fagus hayatae*, MaxEnt, sample size, accuracy, prevalence

一、前言

臺灣水青岡 (*Fagus hayatae*) 為冰河時期殘留臺灣北部的孑遺植物，在冰河時期過後，由於氣候暖化，族群向上遷移，退縮於常綠闊葉樹林稜線附近，成為原先廣泛分布族群之殘留 (呂金誠等，1998)；目前在桃園北插天山 (劉棠瑞和蘇鴻傑，1972)、宜蘭銅山 (陳子英，2004、2005)、新竹烏嘴山 (翁仁憲等，2004) 等地的山脊上，形成足以做為臺灣夏綠林代表的純林 (劉棠瑞和蘇鴻傑，1972)，此獨特且呈退縮性分布的現況，再加上更新不易，使得臺灣水青岡在植物地理學 (phytogeography)、氣候變遷議題及保育經營的研究上，扮演著極具重要的角色 (翁仁憲等，2004)。

準確描述物種生態和地理分布，是了解生物多樣性格局與物種形成過程的基礎 (Rushton *et al.*, 2004)，而探討環境與物種之間的關聯性，一直是生態學研究中相當重要的議題 (Guisan and Zimmermann, 2000)。然而，絕大多數物種缺乏完整的清查，使存在記錄資料過於稀少，導致物種分布訊息在許多應用上是不足的，而物種分布模擬 (species distribution modeling, SDM) 可做為在資料缺乏時，預測物種分布與尋找適宜生育地的替代方案 (Elith *et al.*, 2006)。

SDM是一種藉由統計方法，量化物種已知的分布位置與周遭環境之間的關聯性，以顯

示物種潛在分布的經驗模式 (empirical model) (Guisan and Zimmermann, 2000)，其探討的主題包括對特定物種進行生育地評估，以了解物種潛在分布 (朱容君，2008；Williams *et al.*, 2009)；或在稀有物種的保育上，對於需要透過再引入 (reintroduction) 復育野外族群的物種，利用SDM找出適宜生育地，做為選址參考 (Martínez-Meyer *et al.*, 2006)；亦可應用於防範外來種入侵，評估入侵物種的潛在生育地，加強對高風險地區的防範措施 (Zhang, 2012)。若對未來氣候變遷或生育地改變加以模擬，可進一步預測環境變遷對物種的影響，藉此評估物種因環境變遷而滅絕的風險 (Araújo *et al.*, 2005; Tanaka *et al.*, 2006)。

最大熵物種分布模式 (MaxEnt) 是SDM的多種模擬方法之一 (邱清安等，2013；Phillips *et al.*, 2006)，為一種基於最大熵 (maximum entropy) 演算法的分布模擬，其原理為藉由最大亂度的機率分布，以物種實際的分布座標和物種分布地區的環境變數，預測及估算研究物種在目標地區的可能潛在分布 (Phillips *et al.*, 2005)。Hernandez *et al.* (2006) 以4種 (Bioclim, Domain, GARP, MaxEnt) 不同的模擬方法在加州建構18種物種的SDM，結果顯示MaxEnt所建構之模式表現最佳。而在Wisz *et al.* (2008) 以12種模擬方法評估46種生物 (包含鳥類、小型脊椎動物、高山植物) 建構之SDM，亦發現

MaxEnt的結果優於其他11種模擬方法。

在SDM發展過程中，評估準確度是基本的議題 (Guisan and Thuiller, 2005)；而以量化的方式評估SDM的效能，協助並決定其在實際應用上是否合適，有助於確認建構SDM的某些環節需要改進 (Guisan *et al.*, 2006)；評估SDM的準確度也可做為比較不同模擬方法的依據 (Segurado and Araujo, 2004)，且可比較以不同數據或物種建立之SDM，如何影響準確度 (Reese *et al.*, 2005; Seoane *et al.*, 2005)。許多研究指出，SDM的準確度會受到物種、研究地區、模擬方法、環境變數和研究尺度等因子，以及樣本數量的影響 (Hernandez *et al.*, 2006; Wisz *et al.*, 2008 ; William *et al.*, 2012)。樣本數量不足將導致資料的缺失，明顯影響模擬的質量 (Stockwell and Peterson, 2002; Hernandez *et al.*, 2006)，當樣本數量不足時，模擬之準確度不佳，且具有較高的不確定性 (Wisz *et al.*, 2008)；另一個問題是物種存在數據的取樣具有偏差，特別是在稀有物種或歷史數據 (Phillips *et al.*, 2009)，也會造成模擬之不確定性。當樣本大小達到一定數量後，即使樣本數量增加也不能有效的增加模擬準確度，模式趨於漸進 (asymptote) 而飽和，最後達到最大準確度 (Hernandez *et al.*, 2006)。

二、材料與方法

(一) 物種樣本點資料

本文使用的臺灣水青岡樣本點資料來自於臺灣現生天然植群圖集 (邱祈榮等, 2009)，其中的山地落葉林群系 (FB43)，是以臺灣水青岡為優勢的森林，研究中佐以實地調查，標定點位，確定臺灣水青岡之樣本點，均位於山地落葉林群系圖層的範圍內，並利用ArcGIS 10對臺灣水青岡分布圖層進行系統抽樣，分別以間距40、80、120... 2,000 m 等網格大小 (即等差40 m) 選取一點，做為臺灣水青岡之出現樣本點位。

(二) 環境變數圖層

蒐集各月之平均溫度與降水量等氣象因子 (Chiu *et al.*, 2009)，及其他如高程、地形、水分、土壤及生物氣候指標等變數進行Pearson相關係數 (r) 運算，選取 $|r| \leq 0.7$ 的環境變數 (Murray *et al.*, 2008)，以避免變數於模式計算時造成的多重共線性 (multicollinearity) (龔文斌, 2011)，並考慮環境變數對臺灣水青岡之生態意義，最後共選取了潛在蒸發散量比例 (potential evapotranspiration ratio, PER)、地形輻射坡向指標 (topographic radiation aspect index, TRAI)、全天光空域 (whole light sky, WLS)、複合地形指數 (compound topographic index, CTI)、溫室指標 (warmth index, WI)、溫度季節性 (temperature seasonality, TS)、年降水量 (annual precipitation, AP) 和降水之季節性 (precipitation of seasonality, PS) 等8個環境變數。利用ArcGIS 10 將此8個環境網絡圖層轉換為ASCII格式，以做為MaxEnt之環境變數資料。

(三) 物種分布模擬方法

本文之SDM方法採用MaxEnt 3.3.3k (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/MaxEnt/>; Phillips *et al.*, 2006) 軟體進行模擬，研究中MaxEnt軟體設定為：迭代次數上限 (iteration limitation) 設定為5,000次；收斂臨界值 (coverage threshold) 設定為0.00001；背景值點位最大數量 (max number of background points) 為10,000；重複運行次數 (replicates) 設定為10次；閾值選取規則 (threshold rule) 為訓練敏感度與特異度之最大總和 (maximum training sensitivity plus specificity)；使用交叉驗證 (cross-validation) 評估SDM表現；輸出類別選擇 logistic output；其他設定依照軟體之預設值 (Phillips *et al.*, 2006)，最後產生臺灣水青岡之分布機率圖。

(四) 準確度評估評估

評估SDM準確度的方法，可分為兩大類；閾值依賴指數 (threshold-dependent evaluation) 與非閾值依賴指數 (threshold-independent

evaluation) (龔文斌, 2011)。前者是對物種出現機率的預測值，選擇適當的閾值，將預測值切割成有分布 (預測機率大於閾值) 或無分布 (預測機率小於閾值)，並依其閾值做一誤差矩陣 (confusion matrix) (表1)，依據誤差矩陣的4種情況，可以定義出不同的指標，如敏感度 (sensitivity)、特異度 (specificity)、TSS (true skill statistic) (Allouche *et al.*, 2006) 和Kappa等指標 (表2)，其中敏感度、特異度，和整體預測成功率可以代表SDM預測與實際分布之間一致性的程度 (Manel *et al.*, 2001)。後者則不受閾值影響，若定義的閾值改變，上述的指

標值也會隨之變動；當閾值上升時，敏感度會下降，同時特異度會上升，反之亦然。根據這個特性，若以1-特異度 (false positive) 為橫軸，敏感度為縱軸，並變動所有可能的閾值 (從0到1)，可以畫出一條接受者操作特徵曲線 (receiver operating characters curve, ROC)；一個預測能力良好的模式，應該在1-特異度的值較低時，仍有不錯的敏感度表現，因此，可以用ROC曲線下面積 (area-under curve, AUC)，做為評估SDM預測能力好壞的標準 (曹立松, 2007)。

表1. 評估模式準確度之誤差矩陣 (改自Manel *et al.*, 2001)

Table 1. A confusion matrix used to evaluate the predictive accuracy (adapted from Manel *et al.*, 2001)

		Actual	
		+	-
Predicted	+	a	b
	-	c	d

Note: +, species presence; -, species absence; a, true positive values; b, false positives; c, false negatives; d, true negatives

表2. 由誤差矩陣推導之模式表現評估因子表 (改自Manel *et al.*, 2001)

Table 2. Measures of predictive accuracy calculated from a confusion matrix (adapted from Manel *et al.*, 2001)

評估因子	計算公式 / 敘述
整體預測成功率	$(a+d)/(a+b+c+d)$
敏感度 (sensitivity)	$A/(a+c)$
特異度 (specificity)	$D/(b+d)$
TSS (true skill statistic)	Sensitivity + specificity - 1
Kappa值	$\frac{(a+d) - \{[(a+c)(a+b) + (b+d)(c+d)] / (a+b+c+d)\}}{(a+b+c+d) - \{[(a+c)(a+b) + (b+d)(c+d)] / (a+b+c+d)\}}$
ROC曲線	橫軸：1-特異性；縱軸：敏感度
AUC值	ROC曲線下面積

本文以不同取樣間距的臺灣水青岡點位樣本資料，利用MaxEnt模擬其分布，並使用AUC、Kappa和TSS評估SDM之準確度，比較不同取樣間距下及其所得之不同樣本數量，各模式間準確度之差異。根據Swets (1988) 的建議，AUC值若低於0.5則表示SDM的整體表現低於隨機預測，AUC值介於0.5 ~ 0.7表示SDM的表現不佳，0.7 ~ 0.9表示SDM有較佳的表現，0.9 ~ 1.0則表示SDM的表現良好 (Engler *et al.*, 2004)。而Kappa與TSS值小於0.4屬於較低的預測準確度；0.4 ~ 0.7屬於中等預測準確度；大於0.7則屬於高的預測準確度 (Fielding and Bell, 1997; Allouche *et al.*, 2006)。欲了解模式再多少樣本數量達到最大準確度，在模式建立進行評估後，分別得到的不同評估指標最大值，將其乘以95%後的值，視為模式已達到最大準確度的標準。

三、結果

(一) 取樣間距與樣本數量

本研究以間距 40、80、120 ... 2,000 m 等網格大小選取一點做為臺灣水青岡出現樣本點位，共有50種不同的取樣間距，取樣間距與樣

本數量之關係如表3所示；整體而言，樣本數量隨取樣間距增加而減少，如取樣間距為40 m，可得8,014個樣本點；取樣間距為400 m，可得71個樣本點；取樣間距為800 m，可得22個樣本點，但因臺灣水青岡分布區呈不規則多邊形，使取樣間距大於1,000 m時，不同取樣間距抽樣時可能具有相同的樣本數量，故僅具有35種樣本數量；其中，樣本數量少於10個者，包括取樣間距為1,120、1,320 m可得9個樣本點，取樣間距為1,080、1,280、1,520、1,560 m可得8個樣本點，取樣間距為1,240、1,440、1,480 m可得7個樣本點，取樣間距為1,640、1,840 m可得6個樣本點，取樣間距為1,360、1,440、1,720、1,760、1,880 m可得5個樣本點，取樣間距為1,800、1,960 m可得4個樣本點，取樣間距為1,600、1,680 m可得3個樣本點，而取樣間距1,920 m及2,000 m取到的樣本數量僅有1個觀測值，無法建立模式及評估SDM之準確度。

(二) 取樣間距對MaxEnt準確度的影響

比較臺灣水青岡SDM評估指標AUC、TSS及Kappa在不同取樣間距下之模式準確度顯示 (圖1)，發現不同取樣間距建構SDM的AUC

表3. 臺灣水青岡不同取樣間距下所抽樣的樣本數量一覽表

Table 3. List of sampling points in different sampling scale of *Fagus hayatae*

取樣間距 (m)	樣本數量 (個)	取樣間距 (m)	樣本數量 (個)	取樣間距 (m)	樣本數量 (個)	取樣間距 (m)	樣本數量 (個)	取樣間距 (m)	樣本數量 (個)
40	8014	440	64	840	21	1240	7	1640	6
80	2008	480	60	880	17	1280	8	1680	3
120	894	520	52	920	18	1320	9	1720	5
160	506	560	44	960	13	1360	5	1760	5
200	319	600	35	1000	11	1400	7	1800	4
240	222	640	29	1040	14	1440	5	1840	6
280	170	680	33	1080	8	1480	7	1880	5
320	127	720	31	1120	9	1520	8	1920	1
360	99	760	25	1160	12	1560	8	1960	4
400	71	800	22	1200	11	1600	3	2000	1

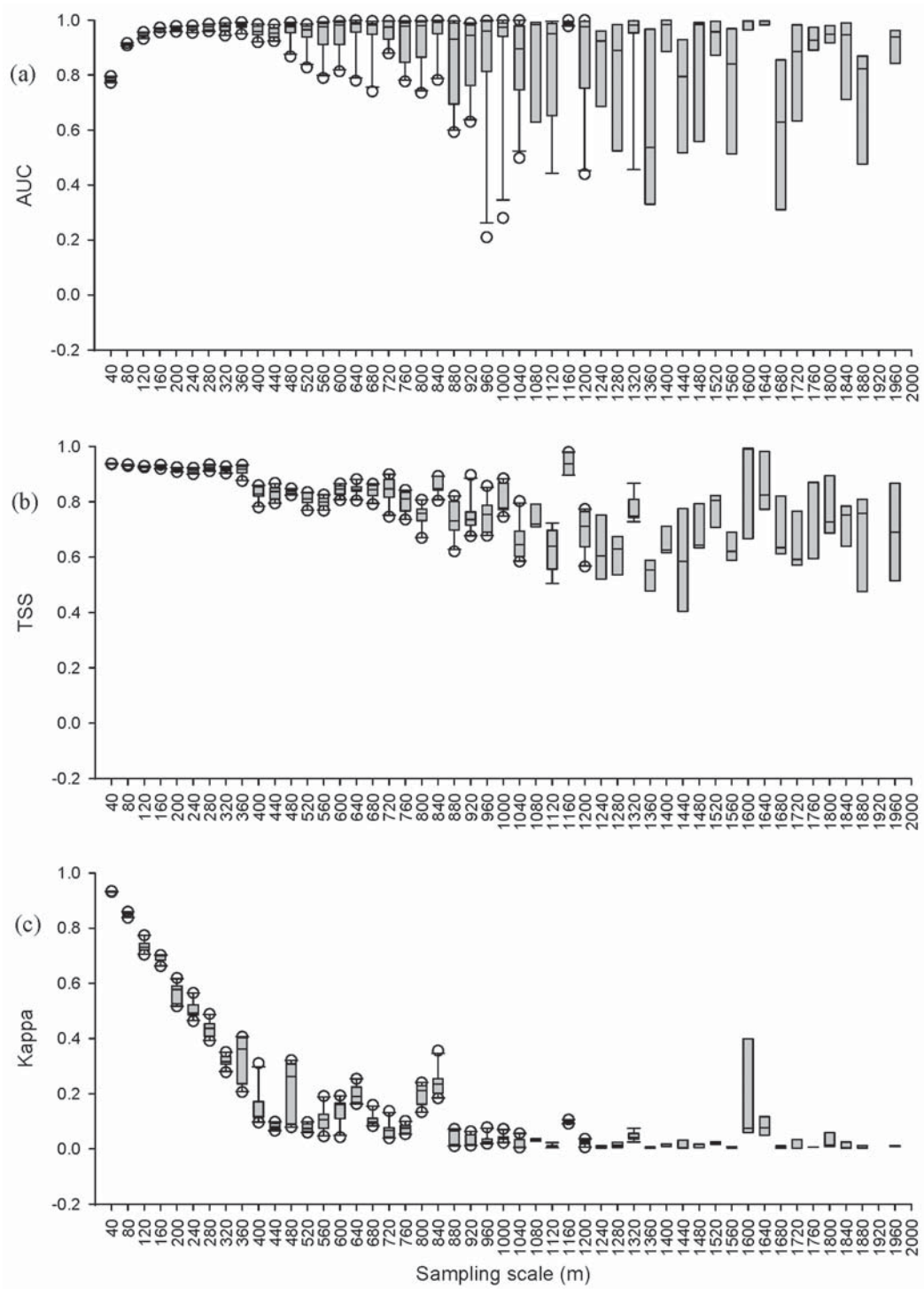


圖1. 臺灣水青岡在不同取樣間距下之MaxEnt準確度：(a) AUC、(b) TSS、(c) Kappa

Fig.1. Predictive MaxEnt accuracy for *Fagus hayatae* under different sampling scale: (a) AUC; (b) TSS; (c) Kappa

值，除了在1,360 m (樣本數量 = 5 ; AUC = 0.614) 及1,680 m (樣本數量 = 3 ; AUC = 0.589) 之兩個取樣間距建構之SDM表現不佳 (AUC < 0.7)，其餘SDM表現皆達可接受水準以上。在取樣間距最精細 (40 m ; 樣本數量最多) 的情況下，SDM表現並非最佳；AUC值於取樣間距120 ~ 840 m，SDM表現最佳且近似水平，而後隨樣本數量減少，SDM準確度有逐漸下降的趨勢；但在取樣間距為1,160 m (AUC = 0.984)、1,600 m (AUC = 0.987)、1,640 m (AUC = 0.980)、1,800 m (AUC = 0.926) 及1,960 m (AUC = 0.934) 的SDM表現仍有很好的表現，且發現AUC之四分位距 (inter quartile range, IQR) 與SDM表現具有一定的趨勢，當模式之IQR越大，其模式的表現越不穩定 (圖1a)。

若以TSS值比較SDM各模式間之差異表現，在較為粗糙的取樣間距中，有12個模式屬於中等預測準確度 ($0.4 < TSS < 0.7$)，其餘模式皆為高預測準確度，且其準確度隨取樣間距精細度的增加 (樣本數增加) 而增加，在360 m時趨於飽和。但其在樣本數量較少的模式中，亦有部分模式表現良好，如取樣尺度1,160 m (TSS = 0.984)、1,600 m (TSS = 0.883) 及1,640 m (TSS = 0.847) (圖1b)。

最後以Kappa值進行比較發現，Kappa的預測準確度在取樣間距小於120 m時，模式有良好的表現；取樣間距介於160 ~ 280 m時屬於中等表現；取樣間距大於320 m時，屬於較差表現。但取樣尺度800、840、1,160、1,600及1,640 m等IQR較大的模式中，其表現略高於其他由較小樣本數量所建構的模式 (圖1c)，其他模式之Kappa值皆趨近於零。

普及率即物種出現點位佔模擬區總樣點之比率 (prevalence)，其受樣本數量之影響，比較3種不同的評估指標 (AUC、TSS、Kappa) 與普及率之關聯性 (圖2)，發現Kappa與另外2種評估指標表現不一致，隨樣本取樣間距的增加 (樣本數減少) 而減少，與普及率呈現相同的趨勢。

(三) 樣本數量對MaxEnt準確度之影響

由圖3得知；在樣本數量較小時，以相同的樣本數量建構之SDM準確度有所差異，如取樣間距為1,600 m (AUC = 0.987 ; TSS = 0.833 ; Kappa = 0.177) 及1,680 m (AUC = 0.589 ; TSS = 0.688 ; Kappa = 0.0003) 的樣本數量皆為3，SDM之表現有明顯的差異。不同評估指標趨於漸進而達到飽和點的樣本數量並不完全一致，以AUC值而言，當樣本數量大於35時，即使增加樣本數，SDM之準確度並不隨之增加；而觀察TSS值，樣本數量需大於99，SDM之準確度才趨近於最高值；在Kappa值方面，樣本數量大於170，SDM之準確度才達到中等預測準確度，而於本研究達最大樣本數時，Kappa值亦未達最高值，需要更多的樣本數量才能求得最大準確度。

分別比較不同樣本數量與相同樣本數量在模擬物種分布時的環境變數 (圖4)，發現樣本數量較大時，環境變數的平均數與標準差有相似的表现，而後隨樣本數量的減少，環境變數的值呈現不規則變動；在相同樣本數量的比較上，例如以取樣間距1,600 m 及1,680 m 所得之樣本數量皆為3，可以發現模擬表現較好的1,600 m，其環境因子的標準差較1,680 m 來的小。

四、討論

(一) 樣本數量對MaxEnt準確度的影響

模式在進行重複運算時，重複次數最多為樣本數減去1次，故當樣本數量少於10時，重複運行次數亦無法達到10次，是由於模式在進行交叉驗證時，需以1個樣本進行模式建立，其它樣本才用於交叉驗證，故當樣本數量少於模式設定次數時，模式實際重複運行次數會固定比樣本數量少1 (蔡顯聲和劉湘川，2009)。因此，樣本數量小於10時，評估SDM準確度指標的統計量 (平均數、中位數、標準差等) 會略有偏頗；而當樣本數量僅有1個觀測值時，無法建立模式及評估SDM之準確度。

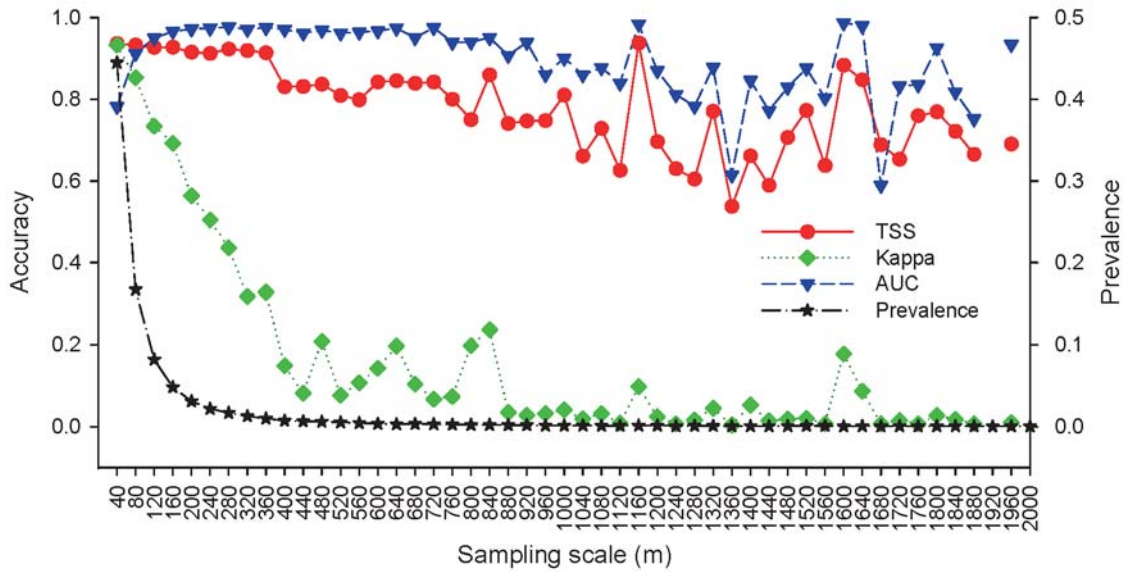


圖2. 臺灣水青岡在不同取樣間距下MaxEnt之預測準確度與的普及率

Fig.2. Predictive MaxEnt accuracy and the prevalence for *Fagus hayatae* under different sampling scale

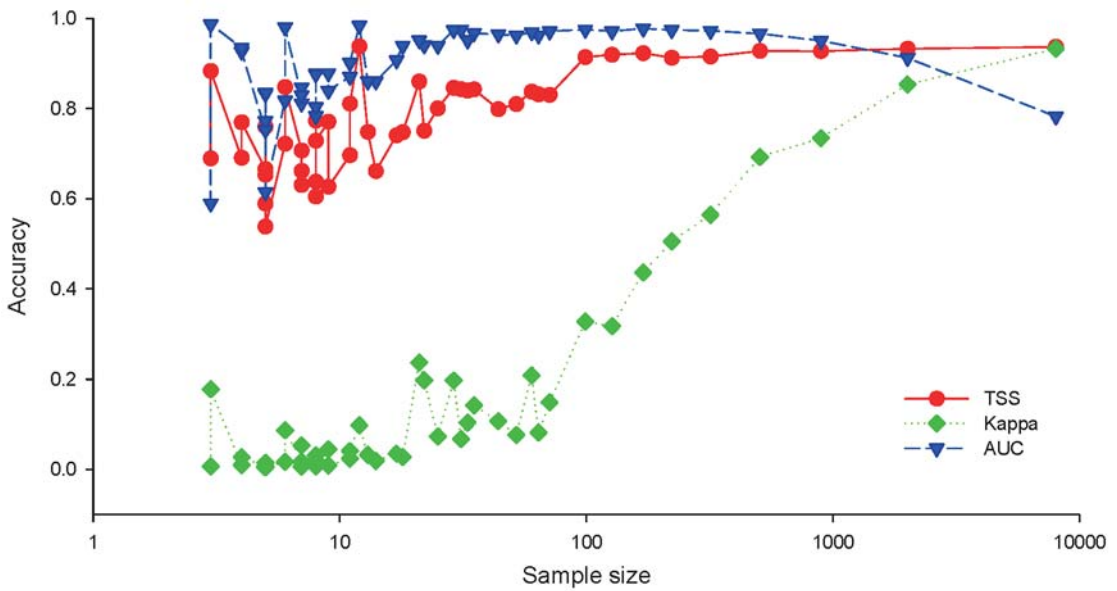


圖3. 臺灣水青岡分布在不同樣本數量下之MaxEnt準確度：(a) AUC、(b) TSS及 (c) Kappa。

Fig.3. Predictive MaxEnt accuracy for *Fagus hayatae* at different sample size: (a) AUC; (b) TSS; (c) Kappa.

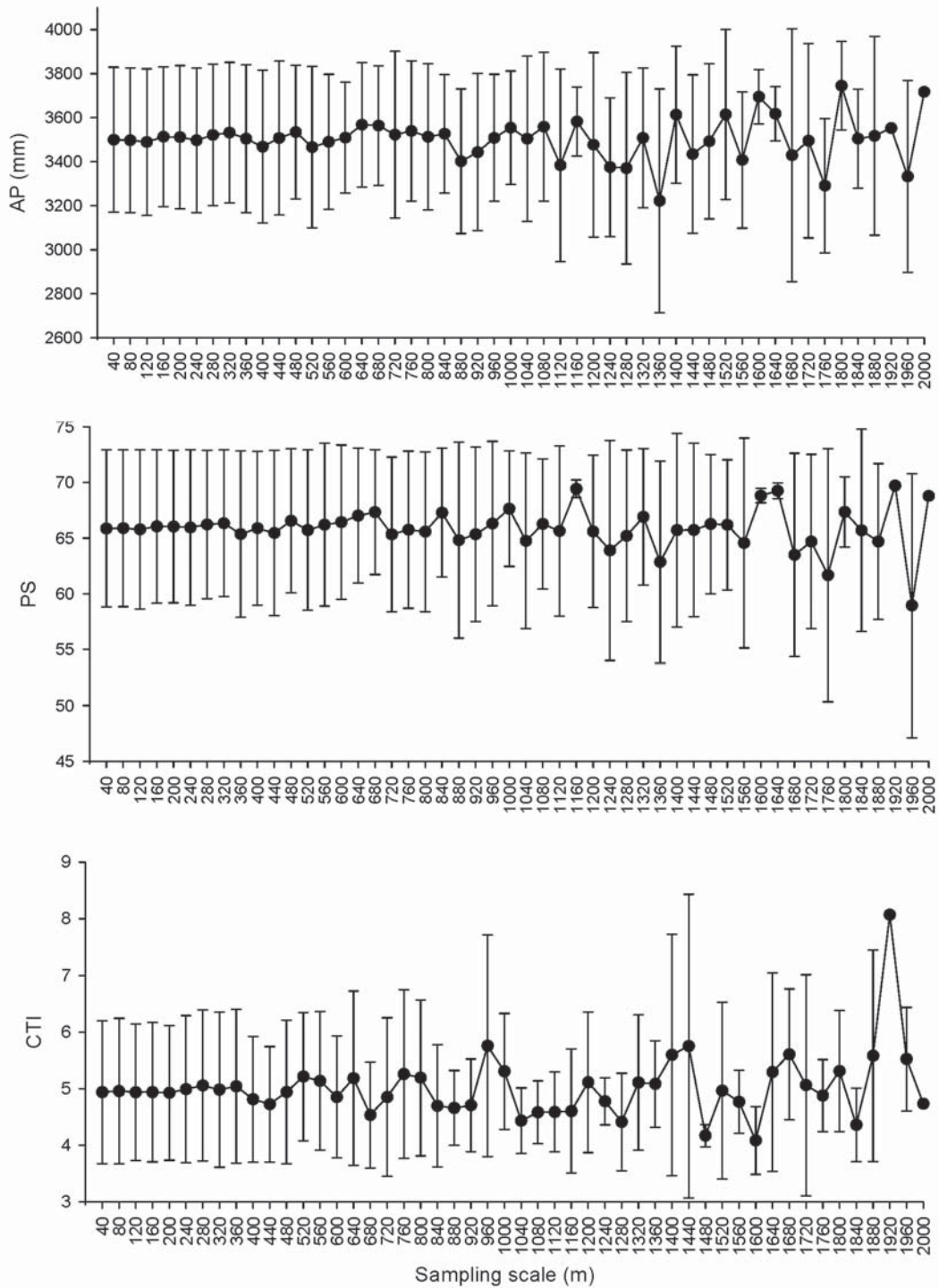


圖4. 臺灣水青岡生育地之年降水量 (AP)、降水季節性 (PS) 及複合地形指標 (CTI) 於不同取樣尺度下之平均數與標準差。
 Fig.4. Mean and standard deviation of Annual precipitation (AP), precipitation of seasonality (PS) and compound topographic index (CTI) in *Fagus hayatae* habitat under different sampling scales.

比較AUC、TSS、Kappa等3種評估指標可以發現，不同評估指標對臺灣水青岡的SDM準確度並不一致，其表現優異依次為AUC、TSS、Kappa；但AUC值評估臺灣水青岡SDM準確度時，在樣本數量最多的情況下，模式表現並非最佳(圖1a)，Verbyla and Litvaitis (1989)曾提出，在一些系統中，當樣本數量過大時，SDM之準確度反而隨樣本數量增加而減少，主要是額外的變數產生特定的集合，使預測產生偏差或過度擬合。Kappa值之表現則明顯與AUC及TSS不同，其原因為AUC與TSS獨立於普及率，並不受其影響，而Kappa則受普及率影響(Allouche *et al.*, 2006) (圖2)；本研究普及率因模式之設定，除樣本數較大的SDM有較高的普及率外，其值均小於0.01，進而造成Kappa值的表現不佳。本研究與Hernandez *et al.* (2006) 提出利用不同評估方法評估SDM準確度並不一致的結果相符，再次證實Kappa對普及率甚為敏感，因此建議未來在評估SDM之準確度時不宜使用Kappa，以避免不同研究之不同普及率，而使其有較為一致的準確度比較基礎。

本研究發現，以不同取樣間距取得的臺灣水青岡分布點位，建構出的SDM準確度不盡相同；為了解樣本數量影響模式準確度之原因，比較不同取樣間距模式間的環境變數，結果發現樣本數量較大的模式中，環境變數的統計值(平均數、標準差)相較於樣本數量小的模式有較高的一致性(圖4)，Wisiz *et al.* (2008) 探討樣本數量少導致SDM準確度較低的原因指出，環境變數估計值(平均數、中位數和預測發生的可能性)的不確定性會隨著樣本增加而減少。本研究在分析過程中發現，離群值在樣本數量小佔的權重相較於樣本數量大時來的高，此亦影響模式之準確度。

對於物種之多維且具複雜本質的生態棲位，或許需要較大的樣本以便準確的描述一個物種的分布條件範圍(Wisiz *et al.*, 2008)。環境因子間的相互作用對於描述物種與環境間的關

係時，通常是重要的，而且評估交互作用的變數數量與預測變數的數量呈指數增長(Rushton *et al.*, 2004)，其結果或許需要大量的資訊去描述複雜的關係與交互作用(Wisiz *et al.*, 2008)。當樣本數量過小時，僅具有族群內不完整的生態資訊，故在模式建立後，對物種的分布有所錯估，因此，應了解該物種在建立模式時，是否具有因樣本抽樣而對預測分布產生偏差(bias)(William *et al.*, 2012)。本研究結果顯示，在樣本數量較小時，以相同的樣本數量建構之SDM準確度有所差異，表示在一些取樣間距下所選取的樣點具有偏差，無法有效的代表臺灣水青岡的生態棲位。但以小樣本建立的模式中，仍有部分表現良好，證實小樣本在特定的取樣條件下，仍可建立具有可信度的模式；此結果與Phillips *et al.* (2009) 提出取樣偏差對模式之影響相較於樣本數量更為重要的觀點一致。

(二) 最小適宜樣本數量

Chen and Lei (2011) 以31種不同的樣本數量對中國沙漠地區的4種植物進行分布預測結果發現，隨樣本數量的增加，模式的準確度也隨之增加；Stockwell and Peterson (2002) 分別以8種不同的樣本數量對墨西哥106種鳥類建立模式亦有相似結果。上述兩研究亦發現當樣本數量達到一定數量後，模式達到最大準確度，之後即使樣本數量增加也不能有效的增加SDM準確度，此與本研究之結果相符(圖2)。樣本數量的增加會連帶的增加調查成本及時間，因此量化樣本數量與SDM之間的關係，了解建構模式可行的最小樣本數量是必要的(Guisan and Zimmermann, 2000)。由本研究之結果顯示，不同評估指標的最小適宜樣本數量並不完全一致，就AUC值而言，樣本數量須大於35，而就TSS值而言，樣本數量須大於99時，SDM之準確度才趨近於最高值，而在Kappa值方面，樣本數量須大於170，SDM之準確度才達到中等預測準確度，且其值在本研究中並未達到最高值，此係由於Kappa易受普及率之影響，

並不適合做為評估最小適宜樣本的指標。比較 Hernandez *et al.* (2006) 以Bioclim、Domain、GARP和MaxEnt 等4種不同的物種分布模擬在加州建立18種物種在不同樣本數量 (5, 10, 25, 50, 75, 100) 建構之SDM, 並以AUC評估SDM準確度, 其最小適宜適樣本數量為25; 而本研究以AUC評估之最小適宜樣本數量為35, 相較於Hernandez *et al.* (2006) 的最小適宜樣本數量略高, 此原因推測為臺灣崎嶇山區的複雜環境需要較多的樣本數量, 才能獲得最小適宜樣本數量所致; 而最小適宜樣本數量亦取決於建立模式時的研究地區、物種、空間解析度、環境和物種出現點的資料品質, 以及建模方法本身 (Hernandez *et al.*, 2006)。

五、結論

樣本數量明顯影響SDM之預測能力, 通常較多的物種出現樣本點有助於提高SDM之預測準確度, 但由於過度擬合的現象及調查成本的增加, 且較少樣本建構的模式, 亦有部分表現良好, 表明樣本數量並非越大越好, 以AUC值為例, 在臺灣水青岡樣本數量大於35時, 即擁有高而穩定的模擬表現。本研究之結果也表明, 評估SDM表現之指標並不一致, 其中Kappa明顯受到普及率之影響, 並不適用於探討樣本數量對SDM之影響, 而各評估方法的結果不同, 因此, 建議應用多個評估指標, 以獲得更為客觀之結論。SDM之預測係基於量化物種—環境之關係, 當取樣數量稀少時, 環境變數的不確定性相當高, 無法完全代表物種的生態棲位; 然而相較於樣本數量對模擬的影響, 取樣偏差對模擬造成的影響更為顯著, 因此, 如何在取樣時避免取樣偏差, 使樣本具有一定的代表性, 值得更進一步探討, 以瞭解需要多少樣本, 才能消除因取樣造成的不確定性, 獲得最小的樣本數量, 並建立具有足夠準確度的預測模式, 以減少調查所需的時間與資源。

六、引用文獻

- 朱容君 (2008) 應用廣義加法模式建立墾丁國家公園稀有植物之潛在分布。國立屏東科技大學森林系碩士論文。共85頁。
- 呂金誠、歐辰雄、邱清安 (1998) 插天山自然保留區植群之研究 (二) 臺灣水青岡之族群組成。中興大學實驗林研究彙刊20(2) : 79-91。
- 邱祈榮、陳子英、劉和義、王震哲、葉慶龍、謝長富 (2009) 臺灣現生天然植群圖集。行政院農業委員會林務局。共420頁。
- 邱清安、陳子英、王志強、邱祈榮、賴彥任、蔡智勇 (2013) 應用BIOMOD2模擬臺灣水青岡之分布。林業研究季刊35(4) : 253-272。
- 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 (2009) 最大熵物種分布模式應用於臺灣十種樹種之可轉性研究。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。共90頁。
- 曹立松 (2007) 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。國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系碩士論文。共86頁。
- 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。
- 蔡顯聲、劉湘川 (2009) 兩種脊迴歸模式與複線性迴歸模式之交互驗證比較。測驗統計年刊 17 (下) : 77-83。
- 龔文斌 (2011) 海岸山脈兩棲類物種分布模式之研究。國立東華大學自然資源與環境學系碩士論文。共86頁。
- Allouche, O., A. Tsoar and R. Kadmon (2006) Assessing the accuracy of species distribution

- models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Applied Ecology* 43: 1223-1232.
- Araújo, M. B., R. G. Pearson, W. Thuiller and M. Erhard (2005) Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology* 11(9): 1504-1513.
- Chen, X. and Y. Lei (2011) Effects of sample size on accuracy and stability of species distribution models: a comparison of GARP and MaxEnt. *Lecture Notes in Electrical Engineering* 125: 601-609.
- Chiu, C. A., P. H. Lin and K. C. Lu (2009) GIS-based test for quality control of meteorological data and spatial interpolation of climate data. *Mountain Research and Development* 29(4): 339-349.
- Elith, J., C. Graham and the NCEAS Species Distribution Modelling Group (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
- Engler, R., A. Guisan and L. Rechsteiner (2004) An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Applied Ecology* 41(2): 263-274.
- 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(1): 38-49.
- Guisan, A. and N. E. Zimmermann (2000) Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135(2): 147-186.
- Guisan, A. and W. Thuiller (2005) Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8: 993-1009.
- Guisan, A., A. Lehmann, S. Ferrier, M. Austin, J. M. C. C. Overton, R. Aspinall and T. Hastie (2006) Making better biogeographical predictions of species' distributions. *Journal of Applied Ecology* 43: 386-392.
- Hernandez, P. A., C. H. Graham, L. L. Master and D. L. Albert (2006) The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29: 773-785.
- 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.
- Martínez-Meyer, E., A. T. Peterson, J. I. Servín and L. F. Kiff (2006) Ecological niche modeling and prioritizing areas for species relationships. *Oryx* 40(40): 411-418.
- Murray, J. V., S. L. Choy, C. A. McAlpine, H. P. Possingham and A. W. Goldizen (2008) The importance of ecological scale for wildlife conservation in naturally fragmented environments: A case study of the brush-tailed rock-wallaby (*Petrogale penicillata*). *Biological Conservation* 141: 7-22.
- Phillips, S. J., M. Dudík and R. E. Schapire (2005) Correcting sample selection bias in maximum entropy density estimation. *Advances in Neural Information Processing Systems* 18: 323-330.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson and R. E. Schapire (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Phillips, S.J., M. Dudík, J. Elith, C. H. Graham, A. Lehmann, J. Leathwick and S. Ferrier (2009) Sample selection bias and presence-

- only distribution model: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications* 19(1): 181-197.
- Reese, G.C., K. R. Wilson, J. A. Hoeting and C. H. Flather (2005) Factors affecting species distribution predictions: A simulation modelling experiment. *Ecological Applications* 15: 556-564.
- Rushton, S.P., S. J. Ormerod and G. Kerby (2004) New paradigms for modelling species distributions? *Journal of Applied Ecology* 41: 193-200.
- Stockwell, D. R. B. and A. T. Peterson (2002) Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling* 148: 1-13.
- Segurado, P. and M. B. Araujo (2004) An evaluation of methods for modelling species' distributions. *Journal of Biogeography* 31: 1555-1568.
- Seoane, J., L.M. Carrascal, C. L. Alonso and D. Palomino (2005) Species-specific traits associated to prediction errors in bird habitat suitability modelling. *Ecological Modelling* 185: 299-308.
- Swets, J. A. (1988) Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240: 1285-1293
- Tanaka, N., T. Matsui, T. Yagihashi and H. Taoda (2006) Climatic controls on natural forest distribution and predicting the impact of climate warming: Especially referring to Buna (*Fagus crenata*) forests. *Global Environmental Research* 10(2): 151-160.
- Verbyla, D. L. and J. A. Litvaitis (1989) Resampling methods for evaluating class accuracy of wildlife habitat models. *Environmental Management* 13: 783-787.
- William, T. B., S. Robert and S. B. Justin (2012) The effects of small size and sample bias on threshold selection and accuracy assessment of species distribution models. *Ecography* 35: 250-258.
- Williams, J. N., C. Seo, J. Thorne, J. K. Nelson, S. Erwin, J. M. O'Brien and W. Schwartz. (2009) Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. *Diversity and Distribution* 15(4): 565-576.
- Wis, M. S., R. J. Hijmans, J. Li, A.T. Peterson, C.H. Graham, A. Guisan and NCEAS Predicting Species Distributions Working Group (2008) Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions* 14: 763-773.
- Zhang, J. (2012) Prediction of potential survival areas of smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) in China. Dissertation, Uppsala University. 44 pp.

