

國立臺灣大學理學院氣候變遷與永續發展國際學位學程



碩士論文

International Master Degree Program in Climate Change and Sustainable Development

College of Science

National Taiwan University

Master's Thesis

植物的潛在分布與實際分布之比較—

以東亞及東南亞植物為例

The comparison of potential and observed distributions of plants –

A case study of plant taxa in East and Southeast Asia

林立

Li Lin

指導教授：孫烜駿 博士；胡哲明 博士

Advisors: Syuan-Jyun Sun Ph.D. & Jer-Ming Hu Ph.D.

中華民國113年7月

July, 2024

## 謝辭



在台大的三年碩士生涯轉眼之間來到了尾聲，碩士論文研究期間歷經了更換題目和各種困難，所幸最後能夠平安度過。這段期間受到了許多人的幫助：感謝指導教授胡哲明老師一路以來細心地指導，不但讓我有機會嘗試大學時就很有興趣的生物地理議題，也提供很多資料，彌補我欠缺的知識；感謝指導教授孫烜駿老師在需要的時候及時伸出援手，並時常關心我的進度；感謝口試委員柯佳吟老師及林奐宇老師仔細閱讀這本論文並且給了很多實質的建議，讓這本論文能夠重新調整架構，變得更好；謝謝有祥和鍾明光博士在GIS的協助；謝謝偉哲在Maxent的協助；也謝謝胡老師實驗室的各位、IPCS的同學們、修過每一堂課的老師和同學以及在各社團和活動認識的朋友，使我在論文之餘也學習到很多，也讓我在這段校園生活中有了許多快樂的時光；最後謝謝我的父母親林文宏先生及劉雅玲女士這25年的支持，使我能免於經濟和生活的壓力，專心求學。

這三年的時光儘管不長，卻非常地豐富。接觸了許多新的知識，到了許多新的地方，認識了許多優秀又溫暖的人，完成了許多事情，留下了許多難忘的回憶。儘管還不知道未來會走向怎麼樣的道路，但相信這三年所累積的點點滴滴，能夠成為日後重要的養分，在往後回顧人生時，會更加明白這段時光的意義，並且慶幸自己當初有來到這個校園。

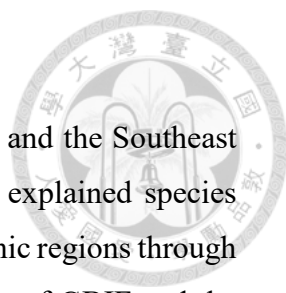
## 摘要



島嶼—海洋是東亞島弧及東南亞群島的主要地貌。此區過去的生物地理研究主要透過歷史來源解釋物種分布範圍，或透過物種名錄的比對劃分生物地理區域。本研究透過 GBIF 的出現紀錄和 Worldclim 的生物氣候圖層，以物種分布模型—Maxent 模擬在此區域有不同分布情形植物科或屬的潛在分布與實際分布，釐清植物的分布的限制除了海洋外是否包含了氣候。結果發現多數東南亞的熱帶植物，包含：橄欖科的六個屬、龍腦香科(Dipterocarpaceae)、金蓮木科(Ochnaceae)、豬籠草科(Nepenthaceae)和小盤木科(Pandaceae)，在緯度較高的東亞沒有潛在分布，然而馬來西亞區內分布於特定亞區的植物：橄欖科的馬蹄果屬(*Protium*)、*Scutinanthe*、*Haplolobus*、*Triomma* 皆在區內的其它亞區有潛在分布。以上結果符合兩個假說：1.分布於東南亞的熱帶植物，分布受到氣候所限制，適合的棲地不包含緯度較高的東亞；代表在大空間尺度下，氣候是植物分布的重要限制因子。2.僅分布於單一或部分生物地理亞區的植物，在其它區域依然存在潛在棲地，但因為海洋的阻隔無法擴散過去；代表在小空間尺度下，物理屏障對於植物分布的影響大於氣候。本研究透過物種分布模型模擬適合棲地，探討生物地理的區域間及區域內兩種空間尺度中植物的分布是受到氣候或是海洋限制，為東亞及東南亞不同地區之間的植物群差異提供一個新的解釋。

關鍵字：生物地理學、物種分布模型、Maxent、生物地理屏障、氣候棲位

## Abstract



Island-ocean is the main landform of the East Asian island arc and the Southeast Asian archipelago. Past biogeographic studies in this area mainly explained species distribution ranges through historical sources, or divided biogeographic regions through comparisons of species lists. This study uses the occurrence records of GBIF and the bioclimatic layer of Worldclim to simulate the potential and actual distribution of plant families or genera with different distribution situations in this area, and using the species distribution model, Maxent to clarify the distribution limits of plants. It was found that most of the tropical plants in Southeast Asia, including: six genera of the family Burseraceae, Dipterocarpaceae, Ochnaceae, Nepenthaceae and Pandaceae, is no potential habitat in higher latitude regions in East Asia. However, plants distributed in specific subregions in Malaysia: *Protium*, *Scutinanthe*, *Haplolobus*, and *Triomma* of the Burseraceae family all have potential distribution in other subregions. The above results are consistent with two hypotheses: 1. The distribution of tropical plants distributed in Southeast Asia is restricted by climate, and their suitable habitats do not include East Asia with higher latitudes ; This means that climate is an important limiting factor for plant distribution at large spatial scales. 2. Plants that are only distributed in a single or part of a biogeographic subregion still have potential habitats in other areas, but cannot spread because of the barriers of the ocean ; This means that at small spatial scales, physical barriers have a greater impact on plant distribution than climate. This study uses a species distribution model to simulate suitable habitats and explores whether the distribution of plants at the inter-regional and intra-regional biogeographic spatial scales is restricted by climate or ocean, providing insights into the differences in flora between different regions in East Asia and Southeast Asia a new explanation.

**Keywords:** Biogeography, species distribution models, Maxent, biogeographic barriers, climate niche

# 目次



|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 謝辭.....                    | I   |
| 摘要.....                    | II  |
| Abstract.....              | III |
| 目次.....                    | IV  |
| 圖次.....                    | VI  |
| 表次.....                    | VII |
| 一、 前言.....                 | 1   |
| 1.1 植物地理分區與分布類型.....       | 1   |
| 1.2 植物分布的形成.....           | 3   |
| 1.3 東亞及東南亞的生物地理.....       | 4   |
| 1.4 研究目的.....              | 8   |
| 二、 材料與方法.....              | 13  |
| 2.1 植物分布資料.....            | 13  |
| 2.2 氣候圖層資料.....            | 14  |
| 2.3 模擬適合棲地.....            | 17  |
| 2.4 準確度評估.....             | 17  |
| 三、 結果.....                 | 18  |
| 3.1 分布預測圖簡介.....           | 18  |
| 3.2 潛在分布與實際分布之比較.....      | 19  |
| 3.3 各類群植物的分布預測結果.....      | 22  |
| 3.4 準確度評估.....             | 47  |
| 四、 討論.....                 | 49  |
| 4.1 東南亞的熱帶植物是否能在東亞生長?..... | 49  |
| 4.2 東亞及東南亞的植物分布屏障.....     | 50  |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 4.3 不同類群植物的分布限制 .....        | 52 |
| 4.4 結語 .....                 | 53 |
| 參考文獻 .....                   | 55 |
| 附錄一、研究植物介紹 .....             | 62 |
| 附錄二、GBIF 的植物出現紀錄資料 .....     | 82 |
| 附錄三 Maxent 的 ROC 與 AUC ..... | 84 |

## 圖次

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 圖 一、植物地理的六大域(Cox et al., 2016) .....                  | 1  |
| 圖 二、世界植物區系(Takhtajan et al., 1986) .....              | 2  |
| 圖 三、東南亞的主要板塊(Metcalf, 2013).....                      | 5  |
| 圖 四、華萊士線的北延(鹿野忠雄, 1936).....                          | 6  |
| 圖 五、東南亞的生物地理亞區和分界線(孟宏虎、宋以剛, 2023).....                | 7  |
| 圖 六、巽他陸棚(Sunda Shelf)與莎湖陸棚(Sahul Shelf).....          | 8  |
| 圖 七、研究範圍中 19 個氣候參數的 Pearson's $\rho$ correlation..... | 16 |
| 圖 八、氣候參數貢獻度.....                                      | 16 |
| 圖 九、分布預測圖範本, 以龍腦香科(Dipterocarpaceae)為例 .....          | 18 |
| 圖 十、橄欖科(Buseraceae)分布預測圖 .....                        | 22 |
| 圖 十一、橄欖屬( <i>Canarium</i> )分布預測圖 .....                | 23 |
| 圖 十二、嘉欖屬( <i>Garuga</i> )分布預測圖 .....                  | 24 |
| 圖 十三、牛栓藤科(Connaraceae)分布預測圖 .....                     | 25 |
| 圖 十四、瘤冠麻屬( <i>Cypholophus</i> )分布預測圖 .....            | 26 |
| 圖 十五、藍果樹屬( <i>Nyssa</i> )分布預測圖 .....                  | 27 |
| 圖 十六、水絲麻屬( <i>Maoutia</i> )分布預測圖 .....                | 28 |
| 圖 十七、珙桐屬( <i>Davidia</i> )分布預測圖 .....                 | 29 |
| 圖 十八、異腺草屬( <i>Anisadenia</i> )分布預測圖 .....             | 30 |
| 圖 十九、山地欖屬( <i>Santiria</i> )分布預測圖 .....               | 31 |
| 圖 二十、 <i>Scutinanthe</i> 分布預測圖 .....                  | 32 |
| 圖 二十一、 <i>Haplolobus</i> 分布預測圖 .....                  | 33 |
| 圖 二十二、 <i>Triomma</i> 分布預測圖 .....                     | 34 |
| 圖 二十三、馬蹄果屬( <i>Protium</i> )分布預測圖 .....               | 35 |
| 圖 二十四、石海椒屬( <i>Reinwardtia</i> )分布預測圖 .....           | 36 |
| 圖 二十五、青籬柴屬( <i>Tirpitzia</i> )分布預測圖 .....             | 37 |
| 圖 二十六、大果五加屬( <i>Diplopanax</i> )分布預測圖 .....           | 38 |
| 圖 二十七、金殼果科(Chrysobalanaceae)分布預測圖 .....               | 39 |
| 圖 二十八、非洲梨屬( <i>Dacryodes</i> )分布預測圖 .....             | 40 |
| 圖 二十九、龍腦香科(Dipterocarpaceae)分布預測圖 .....               | 41 |
| 圖 三十、買麻藤科(Gnetaceae)分布預測圖 .....                       | 42 |
| 圖 三十一、單室茛菪屬( <i>Mastixia</i> )分布預測圖 .....             | 43 |
| 圖 三十二、金蓮木科(Ochnaceae)分布預測圖 .....                      | 44 |
| 圖 三十三、豬籠草科(Nepenthaceae)分布預測圖 .....                   | 45 |
| 圖 三十四、小盤木科(Pandaceae)分布預測圖 .....                      | 46 |
| 圖 三十五、亞洲的氣候分區(Beck et al., 2018).....                 | 52 |

## 表次

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 表 一、研究類群的分布範圍.....                                                                                                                      | 10 |
| 表 二、Bioclimatic variables( <a href="https://www.worldclim.org/data/bioclim.html">https://www.worldclim.org/data/bioclim.html</a> )..... | 15 |
| 表 三、潛在分布與實際分布之比較.....                                                                                                                   | 20 |
| 表 四、棲地模擬結果的準確度評估.....                                                                                                                   | 47 |



## 一、前言

### 1.1 植物地理分區與分布類型

1807 年，洪堡德發表植物地理學概論(essay on the Geography of plants)，開啟了近代植物地理學學門的發展。現今植物地理學的研究領域包含歷史植物地理學、生態植物地理學、親緣地理學與植物區系地理學(應俊生與陳夢玲，2013)。其中植物區系地理學研究世界或某地區所有植物的組成、分布以及起源和演化歷史(王荷生，1992)。植物區系的劃分起源於 J.F.Schouw 在 1823 年發表的普通植物地理學概要 (Grundzüge einer allgemeinen Pflanzengeographie)(Schouw, 1823)，在後繼學者的補充後，區系的單元由大至小有:域(kingdom 或 realm)→區(region)→省(Province)三種(Takhtajan, 1986)。不同學者的劃分方式略有不同，域按照 Takhtajan(1986)與 Good (1947)的分類，有泛北極(Holarctic，又稱全北)、古熱帶(Palaeotropical)、新熱帶(Neotropical)、開普域(Cape)、澳大利亞(Australian)以及南極(Antarctic)六大域，如圖一(Cox et al., 2016)。



圖 一、植物地理的六大域(Cox et al., 2016)

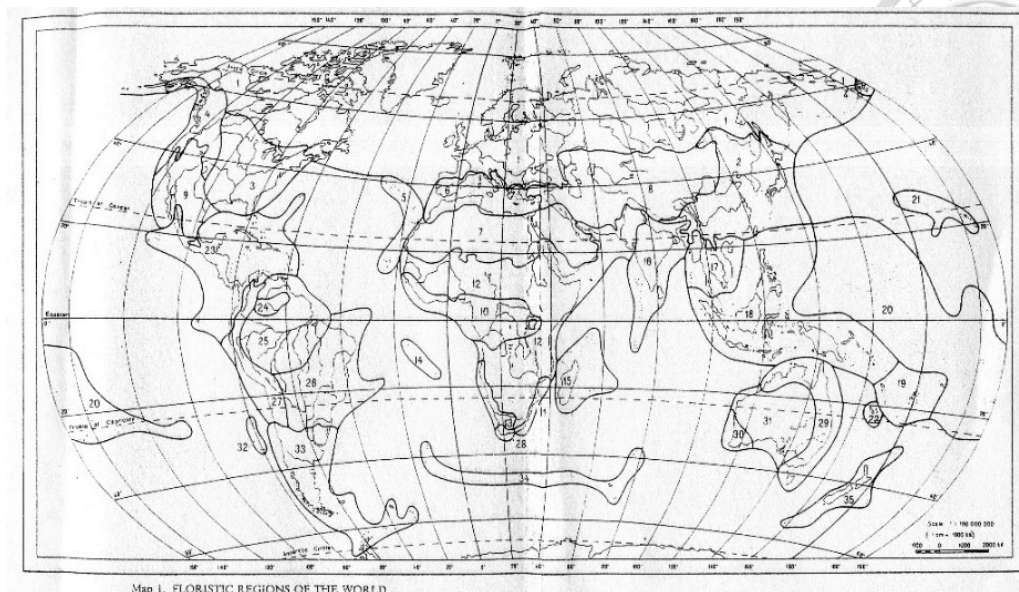


圖 二、世界植物區系(Takhtajan et al., 1986)

形容特定類群植物的分布有數種描述方式:依照分布區的大小可分為廣域與狹域;依照能夠適應環境的範圍可分為廣生態幅與狹生態幅,廣生態幅代表能夠適應的環境條件較大,狹生態幅代表能夠適應的環境條件較小,環境條件包含了溫度、濕度、鹽分等等;依照連續與否,則可分為連續分布與間斷分布(吳征鎰等, 2006)。根據上述概念,被子植物科(family)的分布可分為 6 大類(Good, 1947; 王荷生, 1992):

1. 世界分布科:在世界普遍分布
2. 熱帶分布科:廣泛分布於熱帶和亞熱帶
3. 溫帶分布科:分布於溫帶或熱帶的山區, 其中北溫帶代表北半球的溫帶, 南溫帶代表南半球的溫帶。
4. 間斷分布科:分布於兩個或兩個以上分離的不同區域
5. 特有科:分布範圍相對廣泛分布科窄, 只分布在特定的洲或地區
6. 特殊分布科:不符合上述 5 種類型者



而科再下一階的分類階層—屬(genus)，則有比科更多分布類型(王荷生，1992):

1. 世界和亞世界分布屬
2. 熱帶分布(泛熱帶)屬
3. 溫帶分布屬
4. 其它廣布屬
5. 美洲屬
6. 太平洋屬
7. 歐亞屬
8. 北太平洋屬
9. 歐亞屬
10. 非洲屬
11. 亞洲屬
12. 非洲—歐亞—大洋洲屬
13. 亞洲—澳大利亞—太平洋島嶼屬
14. 澳大利亞屬
15. 間斷分布屬
16. 特有屬

## 1.2 植物分布的形成

生態適應與歷史來源是影響植物分布的兩大因素(黃星凡，2011)，生態適應包含了氣候(溫度、降水、風、光)、土壤、生物因子(競爭排斥)和地形。其中氣候被認為是最主要的因子，地形則被認為是較間接的因子(影響受到的陽光或降水，或是作為地理屏障)(王荷生，1992)。歷史來源則有包含了演化和散播(dispersal)的機制，植物可以藉由孢子、單倍體、新生雙倍體(例如果實和種

子)或舊雙倍體的一部分來散播，媒介包含了動物、風、水、自力散播以及重力(Pijl, 1982)，散播媒介決定了植物是否能夠通過地理屏障，到達新的棲地。限制植物分布的屏障與上述影響分布的因子類似，主要可以分為 7 種(Cox et al., 2016):

1. 物理屏障:例如高山或海洋
2. 氣候屏障:例如低溫
3. 地質與土壤
4. 棲地:例如濕度
5. 生物屏障:掠食、寄生、疾病或競爭
6. 歷史因素
7. 機會

生物地理界線的劃設是依據兩地動物或植物組成的差異，而形成這些差異的原因和上述的限制因子有關。

### 1.3 東亞及東南亞的生物地理

東亞與東南亞位處板塊邊界，與歐亞板塊、印澳板塊、菲律賓海板塊相鄰(Metcalfe, 2013；圖三)，具有複雜的地質歷史過程。這些地質過程也被用於解釋這個地區的生物分布，以下將分別介紹東亞及東南亞兩個區域的生物地理。

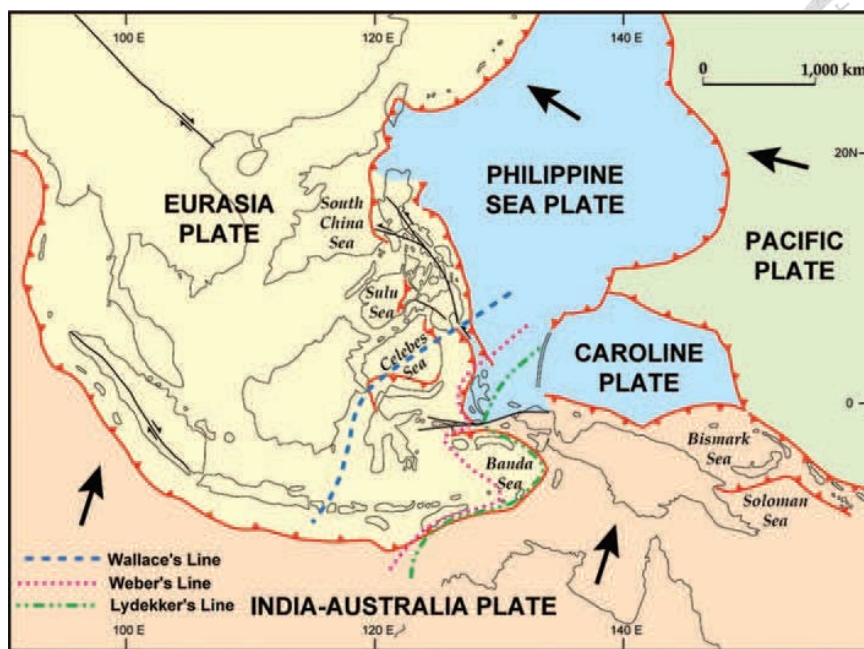
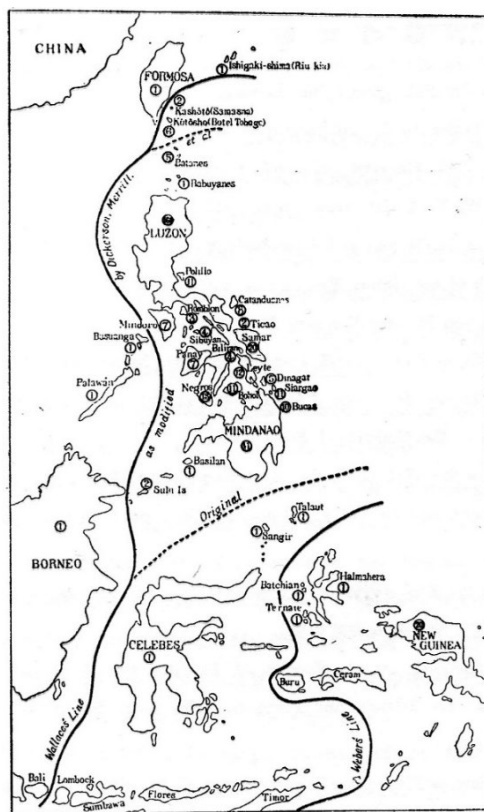


圖 三、東南亞的主要板塊(Metcalf, 2013)

東亞位於生物地理分區的古北界(Palearctic)及植物地理分區當中的全北(Holarctic)域東亞區(Takhtajan et al., 1986; Cox et al., 2016)。由於板塊構造運動在歐亞大陸東方形成島弧(Kubota et al., 2016)，氣候為季風氣候，包含熱帶季風氣候區與副熱帶季風氣候區。當今植物的分布和過去的冰河時期有關，當時喜馬拉雅山區系及橫斷山區系的植物向東、向北擴散，稱為西南—東北走廊；而海平面下降形成的陸橋也使提供溫帶植物以及喜馬拉雅山區系植物擴散到台灣的廊道；九州及台灣的植物擴散到琉球；來自菲律賓的熱帶植物可透過海流、鳥、風等媒介來到台灣(Li, 1957; 王文采, 1992a、1992b; 曾文彬, 1993; 沈中桴, 1996、1997; Nakamura et al., 2009; 黃星凡, 2011)。島弧可以做為第四紀冰期時植物躲避大陸上嚴酷氣候的避難所(Kubota et al., 2016)。比較不同地區的物種名錄也能發現，台灣與中國大陸、日本、琉球、菲律賓的植物有密切關係(大井次三郎, 1936; Hsieh, 2002; 應俊生、徐國士, 2002; Liao and Chen, 2017)。台灣東南方的綠島、蘭嶼因為與菲律賓的共有物種比例高，生物地理劃分則被受討論(耿煊, 1956; 劉崇瑞、林則桐, 1978); 鹿野忠雄(1935、1936)

提出華萊士線應北延至台灣及綠島、蘭嶼之間(圖四)，金平亮三(大井次三郎，1936)、李惠林及耿煊(1950)、張慶恩(1967)也贊成其觀點，金平亮三與耿煊還列出了出現在菲律賓、綠島、蘭嶼，但未見於台灣本島的屬和種。



圖四、華萊士線的北延(鹿野忠雄，1936)

東南亞則位於生物地理分區中的東洋界和植物地理分區當中的古熱帶域的中南半島區和馬來西亞區(Takhtajan et al., 1986；Cox et al., 2016)，主要氣候為熱帶季風氣候與熱帶雨林氣候。此區域分為四個亞區(Woodruff, 2010；孟宏虎、宋以剛，2023；圖五): 中南半島(Indochina)、巽他(Sundaic)、菲律賓(Philippines)和華萊士(Wallacea)。這個區域有四條生物地理分界線，最著名的為華萊士線(Wallace's Line)，另外三條則是後繼學者所提出的修訂(郭怡良等，2014；孟宏虎、宋以剛，2023):

- 華萊士線(Wallace's Line；Huxley, 1868):依據鳥類證據，由南向北依序經過龍目海峽、望加錫海峽和西裡伯斯海，劃分東洋區與澳洲區。

- 赫胥黎線(Huxley's Line；Huxley, 1868):依據鳥類及哺乳類證據，經過望加錫海峽與明多洛海峽，將菲律賓的巴拉望與婆羅洲分在同一區。
- 韋伯線(Weber's Line；Mayr, 1944):依據淡水魚證據，經過帝汶海、班達海與馬古魯海，將小巽他群島和蘇拉威西分在東洋區。
- 萊德克線(Lydekker's Line；Lydekker, 1986):依據哺乳類證據，經過賽藍海，劃分東洋區與澳洲區。

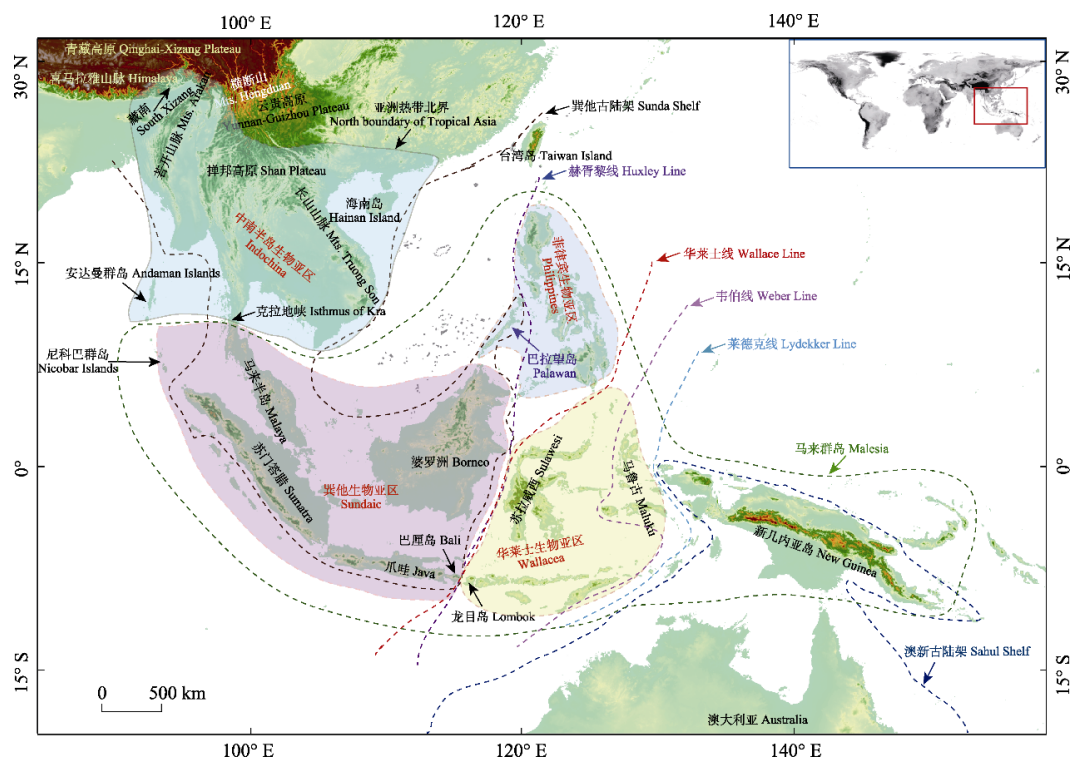


圖 五、東南亞的生物地理亞區和分界線(孟宏虎、宋以剛，2023)

島嶼—海洋是東南亞重要的地貌特徵，複雜的地質歷史過程、古氣候變化以及這當中的擴散(dispersal)和隔離分化(vicariance)如何影響此地區的生物分布是歷史生物地理學的熱門議題(Welzen et al., 2003；Welzen et al., 2011；Metcalf, 2013；Ung et al., 2016；孟宏虎、宋以剛，2023)。馬來半島、婆羅洲、蘇門答臘、爪哇位於水淺的巽他陸棚(圖六)，末次冰期時海平面下降，東南亞各島嶼相連，提供物種

擴散的廊道，被稱為巽他古陸(Sundaland)，熱帶雨林也在此時擴張。巽他古陸的東界即是華萊士線，因為婆羅洲與蘇拉威西間有水深的望加錫海峽(Makassar Strait)，因此冰期依然沒有相連。冰河期結束，海洋平上升則導致物種的隔離分化，形成各島嶼之間的物種組成差異(Welzen et al., 2011；Ung et al., 2016；孟宏虎、宋以剛，2023)。



圖 六、巽他陸棚(Sunda Shelf)與莎湖陸棚(Sahul Shelf)

(由 Maximilian Dörrbecker (Chumwa) - Self made, using this map for the background,  
CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7382691>)

#### 1.4 研究目的

歷史上島嶼—海洋的擴散與隔離分化是形成東亞與東南亞生物地理格局的主要解釋。然而，除了地質歷史過程，現今環境因子對植物分布也同樣重要(Nakamura et al., 2009)。為了更進一步釐清影響此區域植物分布的因子，本論文將測試氣候因子是否也限制了植物的分布，依照地理分區以及科和屬的分布區類型，將此區域的植物分為幾種類型，並挑選適合的科或屬做為案例，測試潛在棲地是否超越原有棲地，本論文的植物分布類型分類如下，各科和各屬植物之介紹詳見附錄一：

- **西太平洋:**包含東亞及東南亞。代表類群:牛栓藤科(*Connaraceae*)、藍果樹科—藍果樹屬(*Nyssa*)、蕁麻科—瘤冠麻屬(*Cypholophus*)、橄欖科(*Buseraceae*)、橄欖科—橄欖屬(*Canarium*)、橄欖科—嘉欖屬(*Garuga*)、蕁麻科—水絲麻屬(*Maoutia*)
- **東亞:**僅分布在東亞區(圖二)。代表類群:珙桐屬(*Davidia*)
- **泛喜馬拉雅:**喜馬拉雅山及鄰近地區，代表類群:亞麻科—異腺草屬(*Anisadenia*)
- **馬來西亞區:**植物地理分區中的馬來西亞區(圖二)。代表類群:橄欖科—山地欖屬(*Santiria*)、橄欖科—*Scutinanthe*、橄欖科—*Haplolobus*
- **巽他亞區:**馬來西亞區中巽他亞區(圖四)。代表類群:橄欖科—*Triomma*
- **中南半島&爪哇&菲律賓:**中南半島區、馬來西亞區中的菲律賓亞區加上爪哇島(圖二、圖四)。代表類群:橄欖科—馬蹄果屬(*Protium*)
- **中南半島及中國:**包含中南半島與中國南部(圖二)。亞麻科—石海椒屬(*Reinwardtia*)、亞麻科—青籬柴屬(*Tirpitzia*)、藍果樹科—大果五加屬(*Diplopanax*)
- **東南亞:**包含植物地理分區中的中南半島區和馬來西亞區(圖二)，並且在四個生物地理亞區(圖四)皆可見。代表類群:龍腦香科(*Dipterocarpaceae*)、買麻藤科(*Gnetaceae*)、藍果樹科—單室茱萸屬(*Mastixia*)、金蓮木科(*Ochnaceae*)、金殼果科(*Chrysobalanaceae*)、豬籠草科(*Nepenthaceae*)、橄欖科—非洲梨屬(*Dacryodes*)、小盤木科(*Pandaceae*)

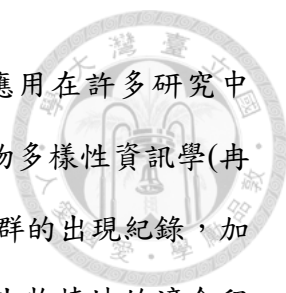
表 一、研究類群的分布範圍

地理劃分參考 Takhtajan et al., 1986 的世界植物區系與 Woodruff, 2010 的東南亞生物地理亞區，表中的台灣為台灣本島，V 代表有該地區有此類群出現。

| 代表類群<br>/植物地理分區 |                    | 東亞區              |        |        | 東亞區<br>-印度<br>區交界<br>處 | 中<br>南<br>半<br>島<br>區 | 馬來西亞區            |                       |                       |
|-----------------|--------------------|------------------|--------|--------|------------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| 中文科名/屬<br>名     | 拉丁科名/屬名            | 中<br>國<br>大<br>陸 | 台<br>灣 | 琉<br>球 | 泛喜馬<br>拉雅              | 中<br>南<br>半<br>島      | 巽<br>他<br>亞<br>區 | 華<br>萊<br>士<br>亞<br>區 | 菲<br>律<br>賓<br>亞<br>區 |
| 西太平洋            |                    |                  |        |        |                        |                       |                  |                       |                       |
| 牛栓藤科            | Connaraceae        |                  |        |        |                        | V                     | V                | V                     | V                     |
| 藍果樹屬            | <i>Nyssa</i>       | V                |        |        | V                      | V                     | V                |                       |                       |
| 瘤冠麻屬            | <i>Cypholophus</i> | V                |        |        |                        |                       | V                | V                     | V                     |
| 橄欖科             | Buseraceae         | V                |        |        |                        | V                     | V                | V                     | V                     |
| 橄欖屬             | <i>Canarium</i>    | V                |        |        |                        | V                     | V                | V                     | V                     |
| 嘉欖屬             | <i>Garuga</i>      | V                |        |        |                        | V                     | V                | V                     | V                     |
| 水絲麻屬            | <i>Maoutia</i>     |                  |        | V      |                        |                       | V                |                       | V                     |
| 東亞              |                    |                  |        |        |                        |                       |                  |                       |                       |
| 珙桐屬             | <i>Davidia</i>     | V                |        |        |                        |                       |                  |                       |                       |
| 泛喜馬拉雅           |                    |                  |        |        |                        |                       |                  |                       |                       |
| 異腺草屬            | <i>Anisadenisa</i> | V                |        |        | V                      |                       |                  |                       |                       |
| 馬來西亞區           |                    |                  |        |        |                        |                       |                  |                       |                       |
| 山地欖屬            | <i>Santiria</i>    |                  |        |        |                        |                       | V                | V                     | V                     |
| (橄欖科)           | <i>Scutinanthe</i> |                  |        |        |                        |                       | V                | V                     |                       |

|             |                    |   |  |  |  |   |   |   |   |
|-------------|--------------------|---|--|--|--|---|---|---|---|
| (橄欖科)       | <i>Haplolobus</i>  |   |  |  |  |   | V | V |   |
| 興他亞區        |                    |   |  |  |  |   |   |   |   |
| (橄欖科)       | <i>Triomma</i>     |   |  |  |  |   | V |   |   |
| 中南半島、爪哇與菲律賓 |                    |   |  |  |  |   |   |   |   |
| 馬蹄果屬        | <i>Protium</i>     |   |  |  |  | V | V |   | V |
| 中南半島及中國     |                    |   |  |  |  |   |   |   |   |
| 石海椒屬        | <i>Reinwardtia</i> | V |  |  |  | V |   |   |   |
| 青籬柴屬        | <i>Tirpitzia</i>   | V |  |  |  | V |   |   |   |
| 大果五加屬       | <i>Diplopanax</i>  | V |  |  |  | V |   |   |   |
| 東南亞         |                    |   |  |  |  |   |   |   |   |
| 金殼果科        | Chrysobalanaceae   |   |  |  |  | V | V | V | V |
| 非洲梨屬        | <i>Dacryodes</i>   |   |  |  |  | V | V | V | V |
| 龍腦香科        | Dipterocarpaceae   |   |  |  |  | V | V | V | V |
| 買麻藤科        | Gnetaceae          |   |  |  |  | V | V | V | V |
| 單室茱萸屬       | <i>Mastixia</i>    |   |  |  |  | V | V | V | V |
| 金蓮木科        | Ochnaceae          |   |  |  |  | V | V | V | V |
| 豬籠草科        | Nepenthaceae       |   |  |  |  | V | V | V | V |
| 小盤木科        | Pandaceae          |   |  |  |  | V | V | V | V |

挑選出在東亞及東南亞具有不同分布情形的案例後，將利用物種分布模型測試這些目標類群的潛在棲地是否超越以上的原有棲地。物種分布模型(Species Distribution Models, SDM)利用生態棲位理論的概念，分析已知物種的出現紀錄與環境因子的關聯，預測棲地適合物種生存的程度或是物種潛在的分布範圍，已經被廣泛應用在陸域、淡水、海洋、保育、氣候變遷以及生物地理的研究當中(Elith and Leathwick, 2009；柯啓樂，2023；葉恩佐，2023)。物種分布模型根據演算法的不同



有數種不同的方式，其中 Maxent 具有良好的表現，被廣泛應用在許多研究中 (Phillips and Dudík, 2008 ; Wisz et al., 2008)。近年公民科學與生物多樣性資訊學(冉挹芬, 2012；林奐宇、李祈德, 2014)興起，可以快速取得各類群的出現紀錄，加上世界尺度的氣候資料庫，就能夠評估特定地理區域作為特定生物棲地的適合程度。本研究想要利用物種分布模型預測的潛在分布是否有涵蓋到不同的生物地理分區，探討氣候以及物理屏障如何影響植物的分布。

主要想要釐清兩個問題:

1. 東南亞的熱帶植物是否能夠適應東亞的氣候?
2. 在緯度相近區域的不同亞區間，限制植物分布的因子是氣候還是物理屏障?

關於物種分布模型可能的潛在棲地評估結果，提出了以下兩個假說:

1. 分布於東南亞的熱帶植物，分布受到氣候所限制，適合的棲地不包含緯度較高的東亞。代表在大空間尺度下，氣候是植物分布的重要限制因子。
2. 僅分布於單一或部分生物地理亞區的植物，在其它區域依然存在潛在棲地，但因為海洋的阻隔無法擴散過去。代表在小空間尺度下，物理屏障對於植物分布的影響大於氣候。

## 二、材料與方法



### 2.1 植物分布資料

使用 Global Biodiversity information facility, GBIF(<https://www.gbif.org/zh-tw/>)的出現紀錄，以學名搜尋目標類群，並根據以下原則挑選後，下載為 csv 檔，進行更進一步的分析：

- 將範圍限縮為亞洲，勾選位於東亞及東南亞的國家
- 因為物種分布模型需要已知的出現紀錄點位，因此只選取有座標的資料 (包含經度、緯度)
- 資料年份挑選西元 1970-2000 年間的紀錄，以對應到氣候圖層資料，WorldClim 的 Bioclimatic variables
- 紀錄類型挑選人類觀察與保存標本
- 由於研究的目的是要了解植物在自然情況下分布的限制因子，因此需要排除種植或是外來種這兩類人為因素影響的情況。剔除的方式是利用肉眼檢視或 excel 的排序功能，找出是否有出現在原有棲地外的不合理點位，將其刪除
- 各屬出現紀錄則取自下載的各科出現紀錄檔案中，利用 excel 的篩選功能挑選出來

每筆下載資料的連結詳見附錄二。



## 2.2 氣候圖層資料

資料來源:WorldClim(<https://www.worldclim.org/>)Historical climate data 中的

Bioclimatic variables (Fick, S.E. and R.J. Hijmans, 2017)

時間範圍:西元 1970 年到 2000 年間

空間解析度:為 30 seconds ( $\sim 1 \text{ km}^2$ )

資料內容:總共有 19 個生物氣候參數的圖層,包含溫度、降水以及兩者的季節、月份變異,被廣泛運用在物種分布模擬的研究中,各參數的代碼和意義詳見表二。

處理流程:

1. 裁切圖層:使用 QGIS 的影像→取出→按範圍剪裁影像,將世界氣候圖層裁切至只剩下東亞及東南亞的範圍。
2. 格式轉換:使用 QGIS 的翻譯(格式轉換)功能,將.tif 檔轉換為.asc 檔,以利後續物種分布模型使用。
3. 計算參數相關性:參考使用指南與前人的方法(Merow et al., 2013; 邱清安等, 2014; Lin et al., 2021; Miao et al., 2024),為了避免氣候參數的重複性過高,移除相關性過高的參數(Merow et al., 2013; Wei et al., 2018)。先以 Pearson's\_correlation 計算在研究區域中 19 個氣候參數的相關性,從 Pearson's  $|r| \geq 0.7$  的參數中,挑選貢獻度高的參數作為代表(圖七)。
4. 在相關程度高的參數中,以部分科植物的出現紀錄做為測試,以 Maxent 產生氣候參數貢獻度,挑選對較多類群有較多貢獻度的參數(圖八)。

表 二、Bioclimatic variables(<https://www.worldclim.org/data/bioclim.html>)

|       |                                                            |
|-------|------------------------------------------------------------|
| BIO1  | Annual Mean Temperature                                    |
| BIO2  | Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp)) |
| BIO3  | Isothermality (BIO2/BIO7) ( $\times 100$ )                 |
| BIO4  | Temperature Seasonality (standard deviation $\times 100$ ) |
| BIO5  | Max Temperature of Warmest Month                           |
| BIO6  | Min Temperature of Coldest Month                           |
| BIO7  | Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)                       |
| BIO8  | Mean Temperature of Wettest Quarter                        |
| BIO9  | Mean Temperature of Driest Quarter                         |
| BIO10 | Mean Temperature of Warmest Quarter                        |
| BIO11 | Mean Temperature of Coldest Quarter                        |
| BIO12 | Annual Precipitation                                       |
| BIO13 | Precipitation of Wettest Month                             |
| BIO14 | Precipitation of Driest Month                              |
| BIO15 | Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)       |
| BIO16 | Precipitation of Wettest Quarter                           |
| BIO17 | Precipitation of Driest Quarter                            |
| BIO18 | Precipitation of Warmest Quarter                           |
| BIO19 | Precipitation of Coldest Quarter                           |

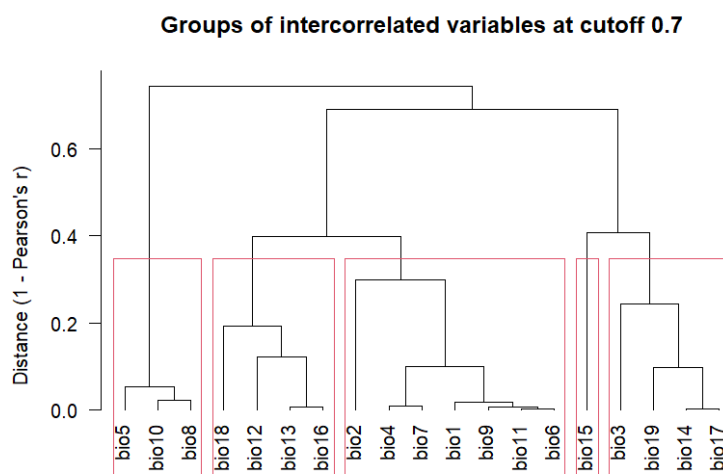


圖 七、研究範圍中 19 個氣候參數的 Pearson's correlation 結果

紅色範圍內的為相關程度較高的參數。

| Families/Percent contribution | Bio1 | Bio2 | Bio3 | <b>Bio4</b> | Bio5 | Bio6 | Bio7 | <b>Bio8</b> | Bio9 | Bio10 | Bio11 | Bio12 | Bio13 | <b>Bio14</b> | <b>Bio15</b> | Bio16 | Bio17 | <b>Bio18</b> | Bio19 |
|-------------------------------|------|------|------|-------------|------|------|------|-------------|------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------------|-------|-------|--------------|-------|
| Burseraceae                   | 2    | 5.1  | 4.6  | 13.3        | 0.3  | 0.5  | 0.7  | 0.9         | 0.2  | 2.5   | 6     | 35.9  | 0.8   | 3.8          | 0.2          | 0.5   | 1.8   | 19.9         | 1     |
| Chrysobalanaceae              | 2.7  | 6.5  | 8.3  | 31.7        | 0.9  | 0.7  | 0.9  | 0.1         | 0.5  | 0     | 2.8   | 26.4  | 0.1   | 1.4          | 0.2          | 0.5   | 11.8  | 4            | 0.5   |
| Cunoniaceae                   | 0    | 5.6  | 4.7  | 31.7        | 0    | 0.7  | 0    | 0           | 0    | 0     | 6.4   | 17.9  | 0.1   | 25.2         | 0.2          | 0.1   | 0     | 6.2          | 1.1   |
| Dichapetalaceae               | 0.4  | 7    | 5.5  | 12.4        | 0.4  | 1.4  | 0    | 1           | 0.6  | 0     | 0.2   | 52.7  | 0.6   | 5.5          | 0.1          | 0.1   | 2.3   | 9.6          | 0.3   |
| Dipterocarpaceae              | 2.2  | 3.7  | 11.4 | 20          | 2.1  | 0.8  | 0.2  | 0.1         | 2.4  | 1.1   | 0     | 42.3  | 0.4   | 3.6          | 0.2          | 0     | 4.6   | 3.3          | 1.4   |
| Linaceae                      | 0    | 1.4  | 0.9  | 17.3        | 1.9  | 0.1  | 0.6  | 0.1         | 1.8  | 0.1   | 19.3  | 2     | 1.8   | 0.3          | 6.5          | 0.1   | 0.4   | 39.5         | 5.9   |
| Nepenthaceae                  | 0    | 4.5  | 5.5  | 43.9        | 0    | 0    | 0.6  | 0.1         | 0.1  | 0.3   | 0.3   | 9.1   | 0.2   | 27.9         | 0.3          | 0.7   | 2.9   | 3.4          | 0.2   |
| Nyssaceae                     | 0    | 9.9  | 1.8  | 3.5         | 0.1  | 0.1  | 1.4  | 2.7         | 0    | 0     | 0.9   | 0.6   | 1.6   | 1.1          | 0.3          | 0.2   | 0.8   | 74.9         | 0.1   |
| Ochnaceae                     | 1.9  | 4.5  | 6.7  | 27.8        | 3.2  | 0.1  | 0.6  | 0.3         | 0.5  | 0.3   | 0.2   | 23.2  | 0.2   | 15.2         | 0.8          | 4.2   | 4     | 5            | 1.2   |
| Pandaceae                     | 0.6  | 9.6  | 5.7  | 14.7        | 0.7  | 1    | 0    | 0           | 0.4  | 0.6   | 0     | 50.9  | 0.1   | 5            | 0            | 0.6   | 0.1   | 8.4          | 0.6   |

圖 八、氣候參數貢獻度

粗體者為最後有挑選的參數。

依照相關程度與氣候參數貢獻度，最後挑選：

bio4 Temperature Seasonality

bio8 Mean Temperature of Wettest Quarter

bio14 Precipitation of Driest Month

bio15 Precipitation Seasonality

bio18 Precipitation of Warmest Quarter

共 5 個參數作為代表。



## 2.3 模擬適合棲地

使用物種分布模擬(species distribution modeling, SDM)中常見的最大熵物種分布模式(Maximum Entropy Species Distribution modeling, MaxEnt)，以軟體 Maxent version 3.4 執行(Phillips et al., 2024)。先匯入上述植物出現紀錄與 5 個氣候參數經過裁切後的氣候圖層，接著 Maxent 能夠將背景圖層位置上的環境條件與觀察到的存在位置的環境條件進行比較，以進行預測。GBIF 紀錄可能受到努力量影響，提高紀錄比數較多處的適合程度。參數部分參考前人與使用指南(Merow et al., 2013；江鴻猷等，2014)研究，將迭代次數上限(Maximum iterations，允許的最大迭代次數，以防無法在合理時間內收斂)設為 500、收斂臨界值(Convergence threshold，判斷是否已經收斂到足夠接近)為 0.00001、最大背景值點位為 10000、輸出類別為 cloglog(代表預測存在的機率)，其餘依軟體預設值，產生出現機率圖和 AUC(Area Under the receiver operating characteristic Curve, AUC，用於評估模型準確性)。

## 2.4 準確度評估

利用非閾值依賴評估(threshold-independent evaluation)的方法，計算 ROC 曲線(receiver operating characters curve)下的面積(Area Under the receiver operating characteristic Curve, AUC)，評估分布預測的準確程度。數值越接近 1，模型的區分能力越好；0.5 表示模型的性能與隨機猜測相當(Ling, 2003；Huang and Ling, 2005)。

### 三、結果



#### 3.1 分布預測圖簡介

下圖為利用 Maxent 產生，並且以 R 重新繪製的目標類群分布預測圖，X 軸為經度，Y 軸為緯度，顏色的深淺代表棲地適合該類群植物的程度，越紅代表出現機率越高、棲地越適合，越白則代表出現機率越低、棲地越不適合，如各圖右方的圖示所示；圖中黑色圓點代表 GBIF 的輸入資料中有該類群出現紀錄的點位。由於適合程度為連續的，為了方便後續的討論，參考 Khan et al., 2022 的方法，將棲地適合度進行分類:出線機率 0-0.2(白色)為不適合、0.2-0.4(淺綠)為低度適合、0.4-0.6(黃綠)為中等適合、0.6-0.8(橘色)為高度適合、0.8 以上(紅色)為極度適合。

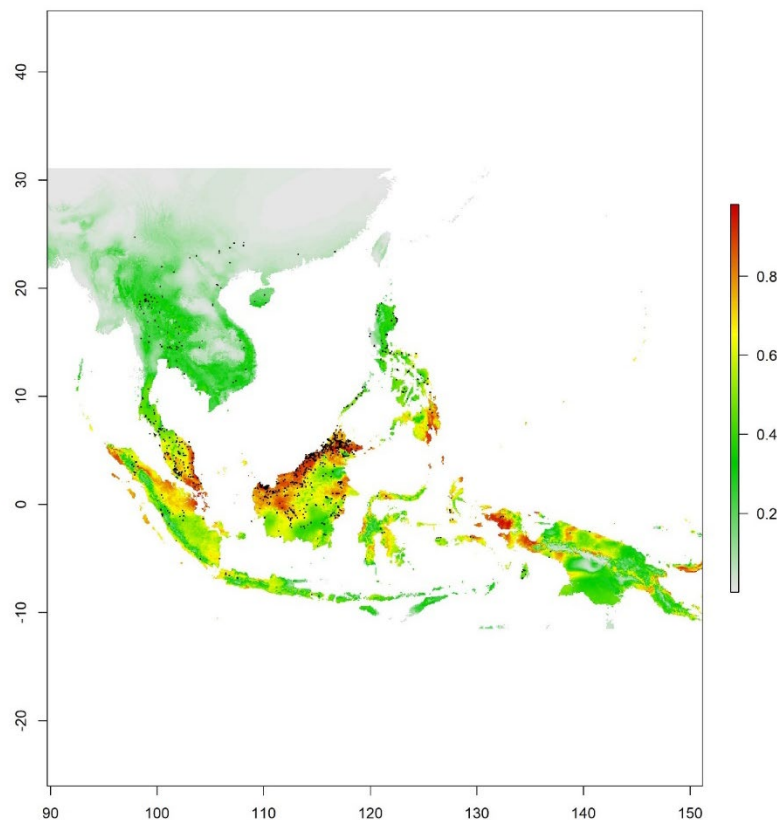


圖 九、分布預測圖範本

以龍腦香科(Dipterocarpaceae)為例



### 3.2 潛在分布與實際分布之比較

表三為潛在分布與實際分布之比較，西太平洋分布的植物中，牛栓藤科(Connaraceae)、藍果樹科的藍果樹屬(*Nyssa*)、蕁麻科的瘤冠麻屬(*Cypholophus*)、橄欖科的橄欖屬(*Canarium*)、嘉欖屬(*Garuga*)、蕁麻科的水絲麻屬(*Maoutia*)有出現額外的潛在分布；千屈菜科的水芫花屬(*Pemphis*)、橄欖科(Buseraceae)的潛在分布則接近實際分布。中國特有的藍果樹科珙桐屬(*Davidia*)預測分布接近實際分布。分布在喜馬拉雅地區的異腺草屬(*Anisadenisa*)在中國東南方出現潛在棲地。馬來西亞分布的橄欖科二屬 *Scutinanthe* 及 *Haplolobus* 在菲律賓出現了潛在分布。巽他亞區的橄欖科 *Triomma* 則在華萊士和菲律賓兩個亞區都有潛在分布。分布於中南半島、爪哇和菲律賓的 *Protium* 在華萊士亞區也出現了潛在分布。中南半島及中國的亞麻科青籬柴屬(*Tirpitzia*)、石海椒屬(*Reinwardtia*)和藍果樹科的大果五加屬(*Diplopanax*)皆出現了額外的潛在棲地。而東南亞皆有分布的買麻藤科(Gnetaceae)、藍果樹科的單室茱萸屬(*Mastixia*)在東亞的臺灣有出現潛在分布；而龍腦香科(Dipterocarpaceae)、金蓮木科(Ochnaceae)、橄欖科的非洲梨屬(*Dacryodes*)、金殼果科(Chrysobalanaceae)、豬籠草科(Nepenthaceae)、小盤木科(Pandaceae)的分布預測則接近原有分布，限於熱帶的東南亞地區。

表 三、潛在分布與實際分布之比較

各區定義同表一，V 代表原有棲地，O 代表潛在棲地

| 代表類群/植物地理分區 |                    | 東亞區  |    |    | 東亞區與印度區交界處 | 中南半島區 | 馬來西亞區 |       |        |
|-------------|--------------------|------|----|----|------------|-------|-------|-------|--------|
| 中文科名/屬名     | 拉丁科名/屬名            | 中國大陸 | 台灣 | 琉球 | 泛喜馬拉雅      | 中南半島  | 巽他亞區  | 華萊士亞區 | 菲律賓賓亞區 |
| 西太平洋        |                    |      |    |    |            |       |       |       |        |
| 牛栓藤科        | Connaraceae        |      | O  | O  |            | V     | V     | V     | V      |
| 藍果樹屬        | <i>Nyssa</i>       | V    | O  | O  | V          | V     | V     | O     | O      |
| 瘤冠麻屬        | <i>Cypholophus</i> | V    | V  | O  |            | O     | V     | V     | V      |
| 橄欖科         | Buseraceae         | V    |    |    |            | V     | V     | V     | V      |
| 橄欖屬         | <i>Canarium</i>    | V    | O  | O  |            | V     | V     | V     | V      |
| 嘉欖屬         | <i>Garuga</i>      | V    | O  |    |            | V     | V     | V     | V      |
| 水絲麻屬        | <i>Maoutia</i>     | O    | O  | V  |            | O     | O     | O     | V      |
| 東亞          |                    |      |    |    |            |       |       |       |        |
| 珙桐屬         | <i>Davidia</i>     | V    |    |    |            |       |       |       |        |
| 泛喜馬拉雅       |                    |      |    |    |            |       |       |       |        |
| 異腺草屬        | <i>Anisadenisa</i> | V    |    |    | V          |       |       |       |        |

| 馬來西亞區       |                    |   |   |   |  |   |   |   |   |
|-------------|--------------------|---|---|---|--|---|---|---|---|
| 山地欖屬        | <i>Santiria</i>    |   |   |   |  |   | V | V | V |
| (橄欖科)       | <i>Scutinanthe</i> |   |   |   |  |   | V | V | O |
| (橄欖科)       | <i>Haplolobus</i>  |   |   |   |  |   | V | V | O |
| 興他亞區        |                    |   |   |   |  |   |   |   |   |
| (橄欖科)       | <i>Triomma</i>     |   |   |   |  |   | V | O | O |
| 中南半島、爪哇與菲律賓 |                    |   |   |   |  |   |   |   |   |
| 馬蹄果屬        | <i>Protium</i>     |   |   |   |  | V | V | O | V |
| 中南半島及中國     |                    |   |   |   |  |   |   |   |   |
| 石海椒屬        | <i>Reinwardtia</i> | V | O |   |  | V |   |   |   |
| 青籬柴屬        | <i>Tirpitzia</i>   | V |   | O |  | V |   |   |   |
| 大果五加屬       | <i>Diplopanax</i>  | V | O |   |  | V |   |   | O |
| 東南亞         |                    |   |   |   |  |   |   |   |   |
| 金殼果科        | Chrysobalanaceae   |   |   |   |  | V | V | V | V |
| 非洲梨屬        | <i>Dacryodes</i>   |   |   |   |  | V | V | V | V |
| 龍腦香科        | Dipterocarpaceae   |   |   |   |  | V | V | V | V |
| 買麻藤科        | Gnetaceae          |   | O | O |  | V | V | V | V |
| 單室茛莢屬       | <i>Mastixia</i>    |   | O | O |  | V | V | V | V |
| 金蓮木科        | Ochnaceae          |   |   |   |  | V | V | V | V |
| 豬籠草科        | Nepenthaceae       |   |   |   |  | V | V | V | V |
| 小盤木科        | Pandaceae          |   |   |   |  | V | V | V | V |



### 3.3 各類群植物的分布預測結果

本章節利用分布預測圖呈現不同分布情形的各科或各屬植物的潛在分布，分布預測圖的說明詳見 3.1。

#### 西太平洋

牛栓藤科(Connaraceae)、藍果樹科的藍果樹屬(*Nyssa*)、蕁麻科的瘤冠麻屬(*Cypholophus*)、橄欖科的橄欖屬(*Canarium*)、嘉欖屬(*Garuga*)有出現額外的潛在分布；千屈菜科的水芫花屬(*Pemphis*)、橄欖科(Buseraceae)的潛在分布則接近實際分布。

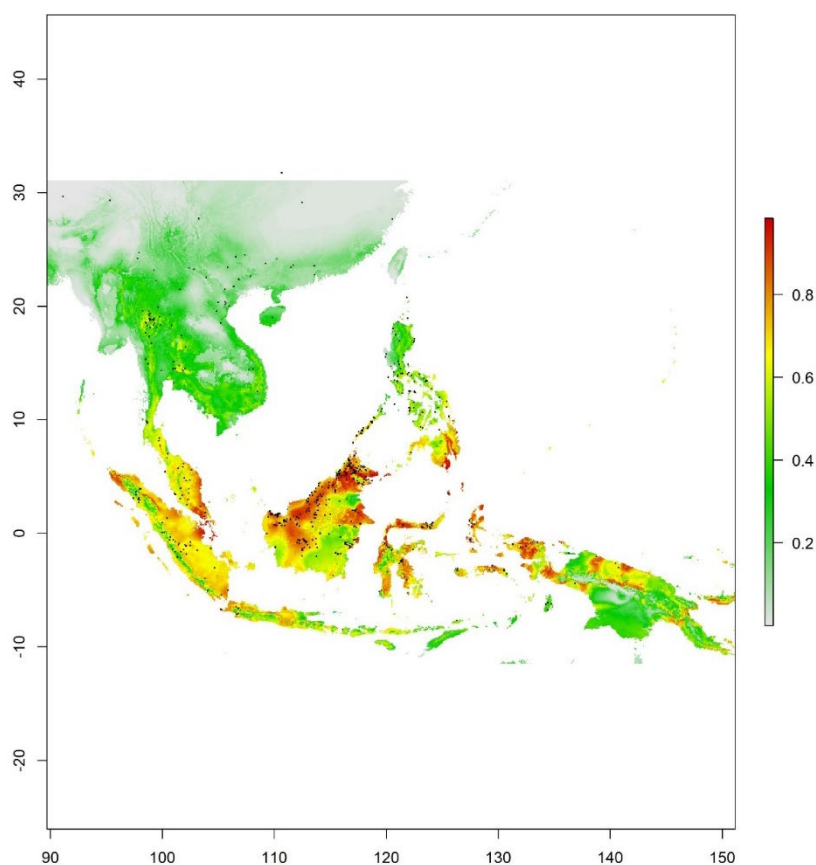


圖 十、橄欖科(Buseraceae)分布預測圖。

潛在分布接近實際分布。

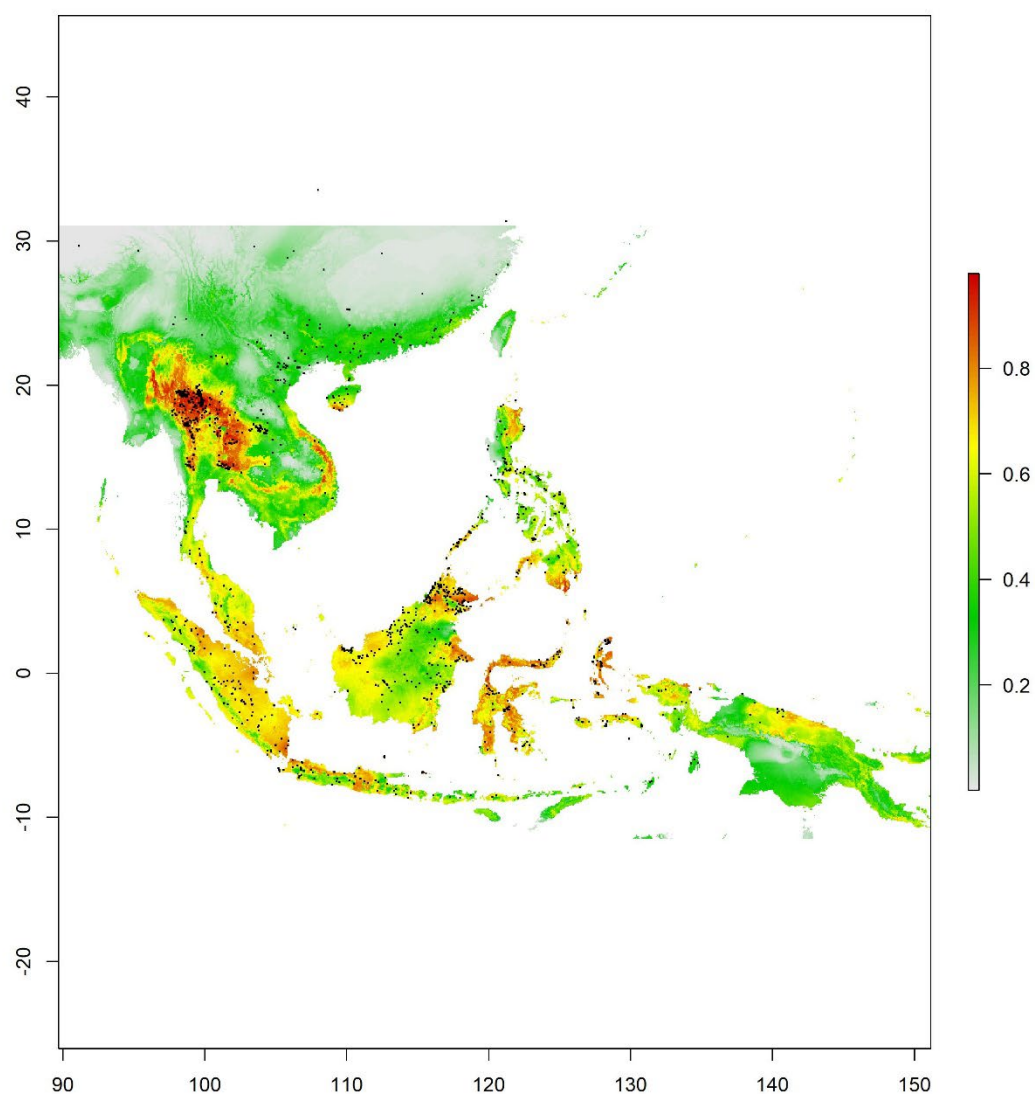


圖 十一、橄欖屬(*Canarium*)分布預測圖

琉球及綠島、蘭嶼為潛在分布範圍，臺灣本島也是中等適合棲地。

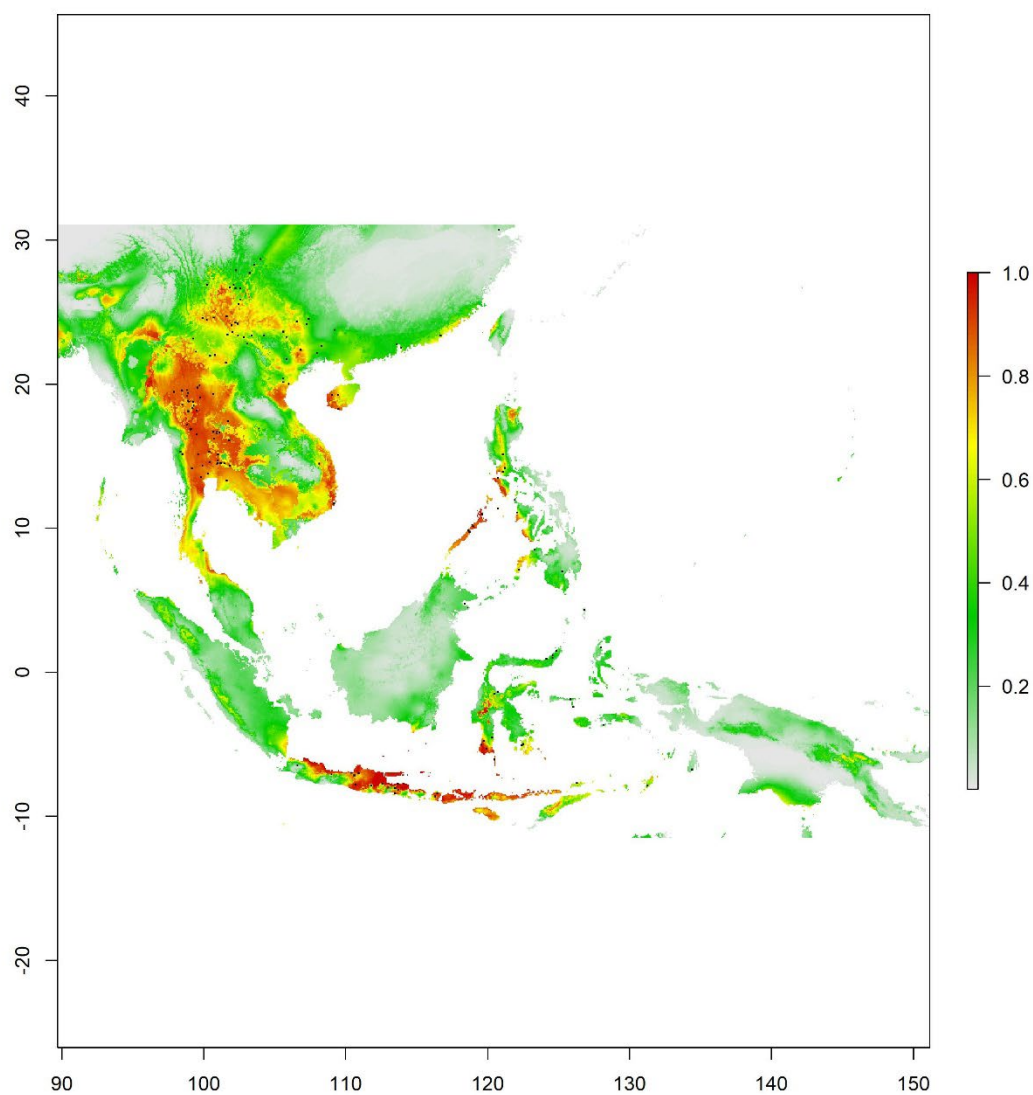


圖 十二、嘉欖屬(*Garuga*)分布預測圖。

台灣西部具有潛在棲地。

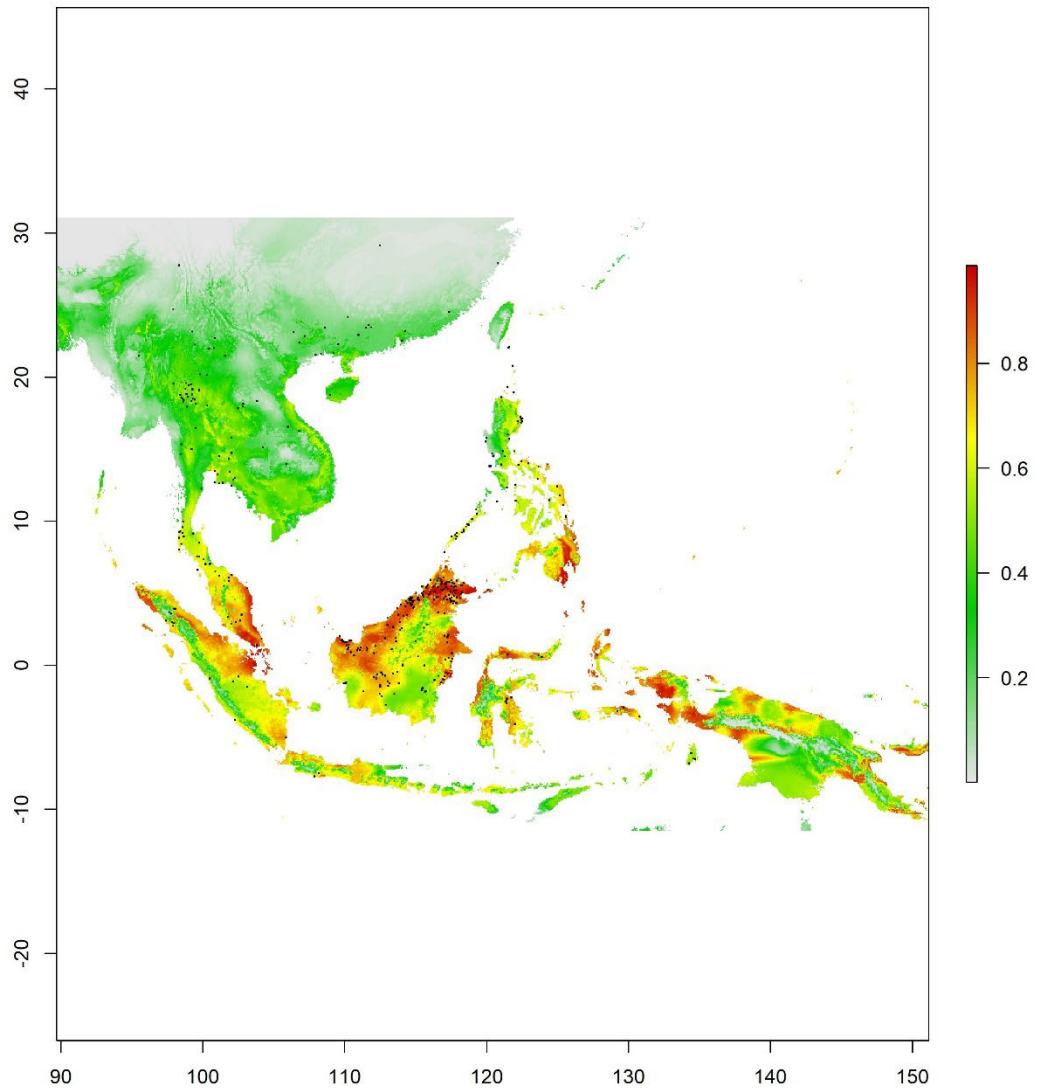


圖 十三、牛栓藤科(Connaraceae)分布預測圖

琉球出現潛在分布，臺灣本島也屬於中等適合棲地。

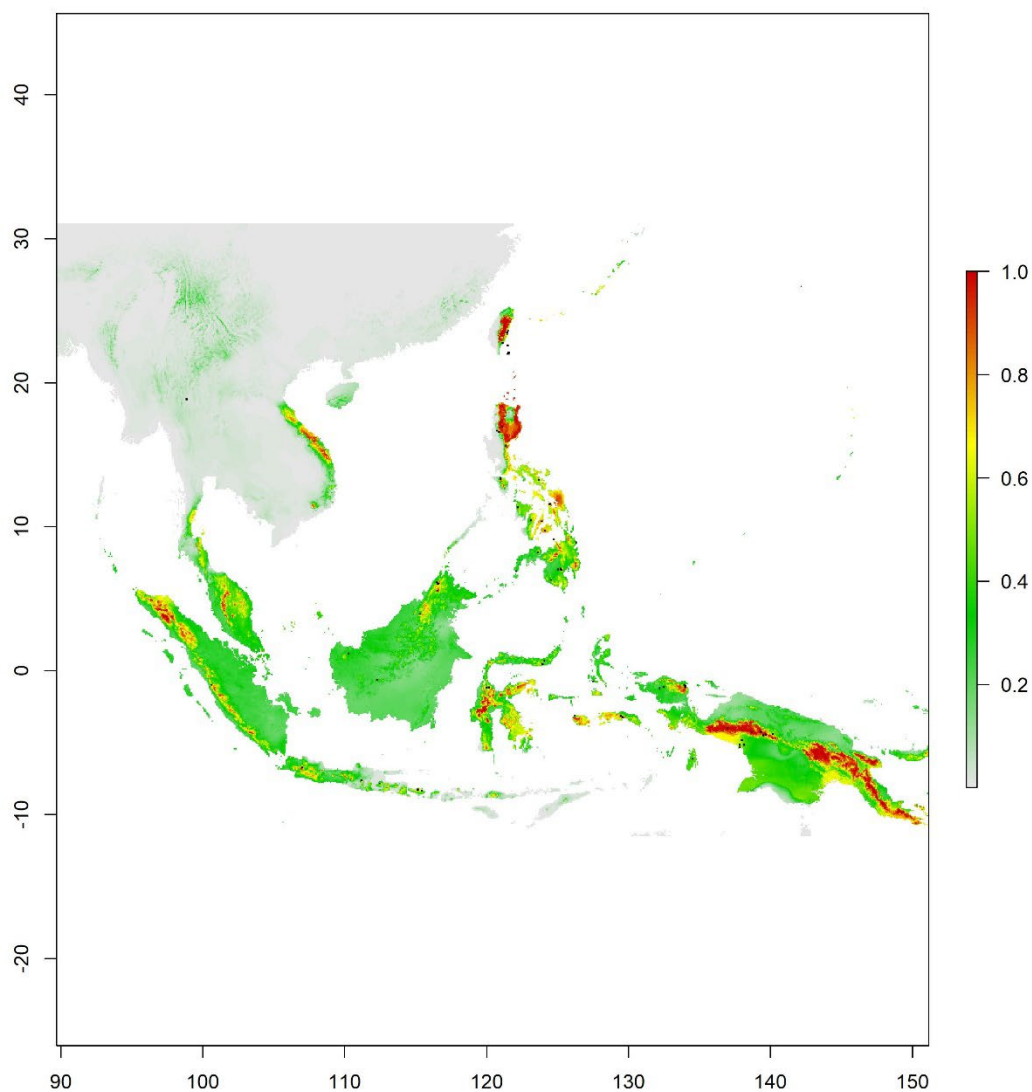


圖 十四、瘤冠麻屬(*Cypholophus*)分布預測圖

琉球、臺灣本島(原有的花蓮以外)和馬來西亞為潛在分布範圍。

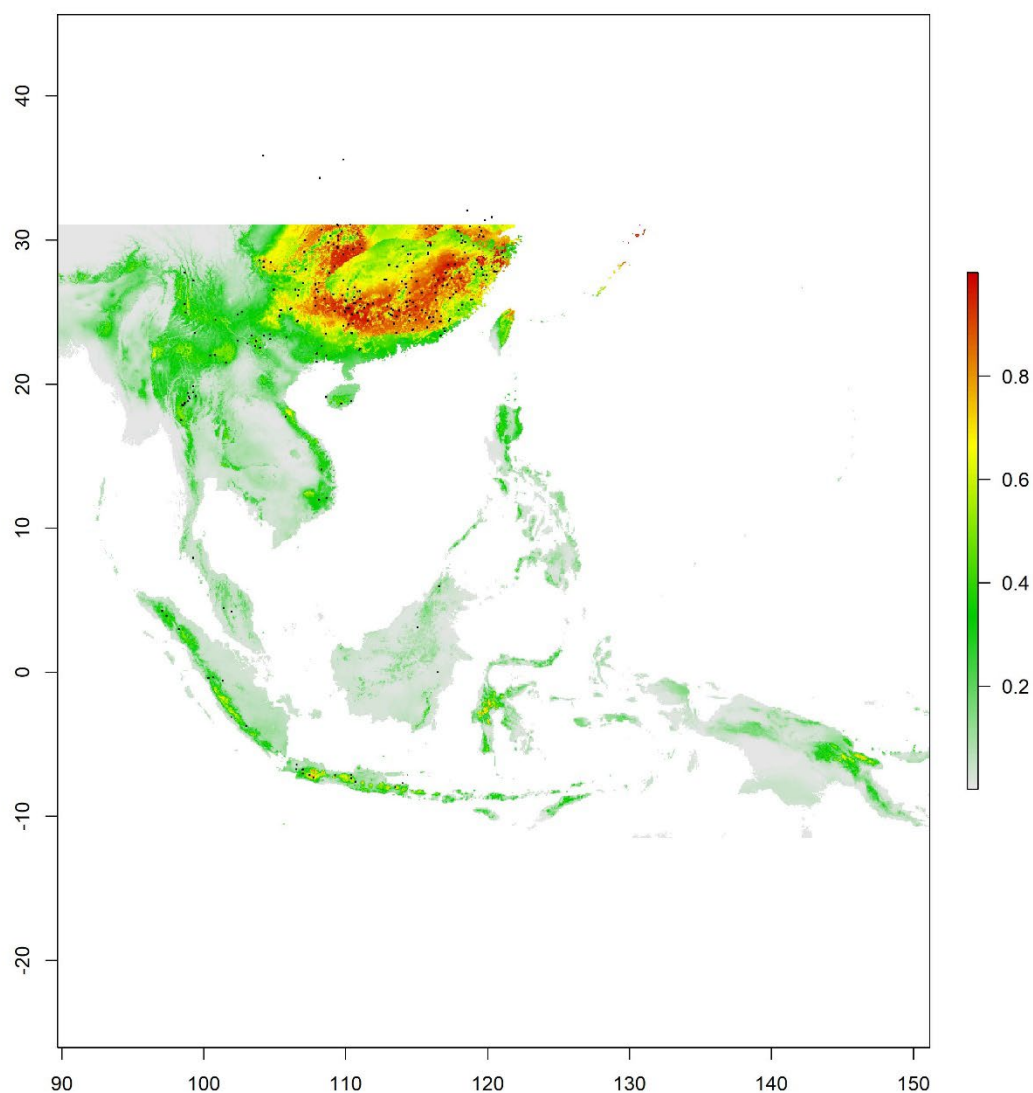


圖 十五、藍果樹屬(*Nyssa*)分布預測圖

臺灣及琉球為潛在分布範圍。

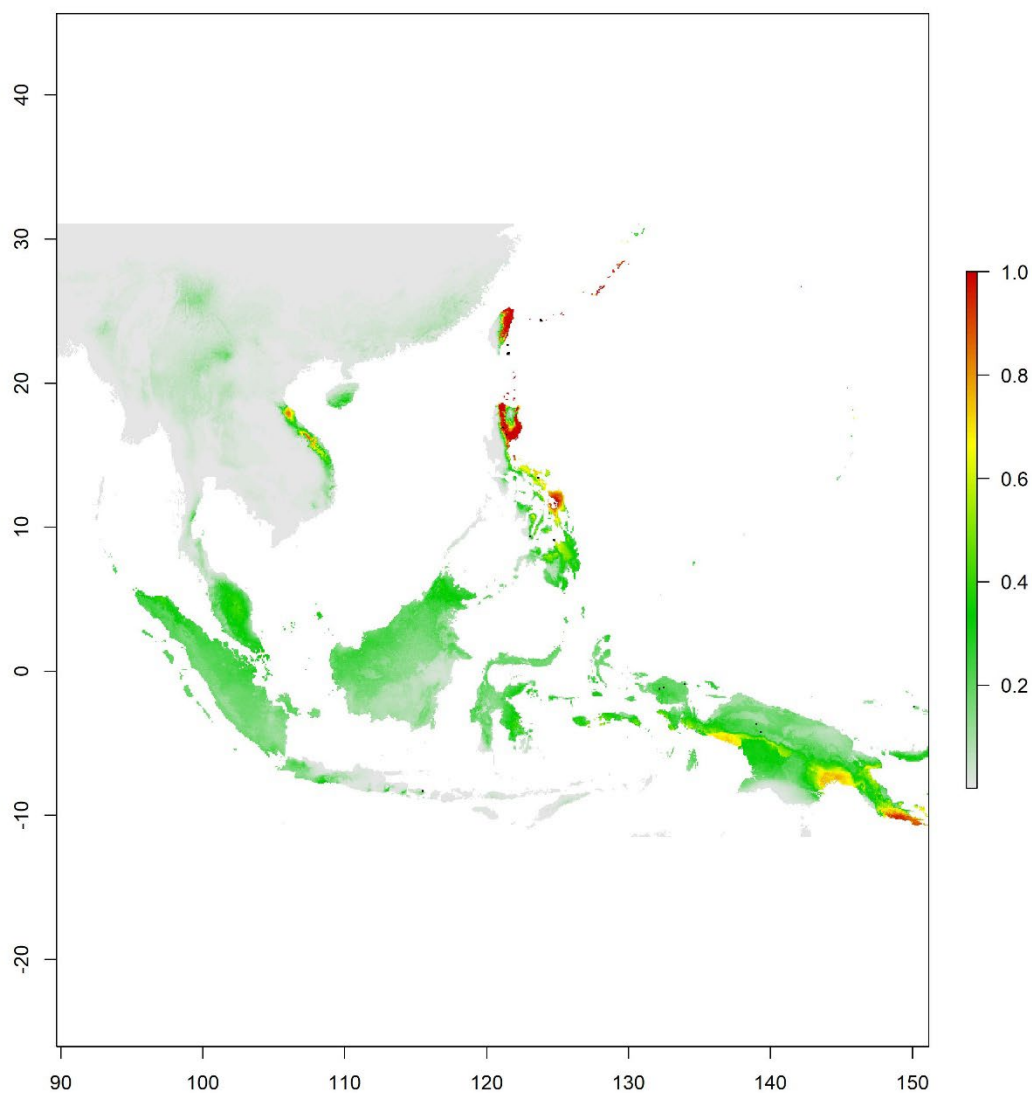


圖 十六、水絲麻屬(*Maoutia*)分布預測圖

在中南半島的越南、臺灣本島和馬來西亞區其它島嶼出現潛在棲地。

## 東亞

代表案例為中國特有的藍果樹科珙桐屬(*Davidia*)，其潛在分布接近實際分布，只出現在中國的特定省分。

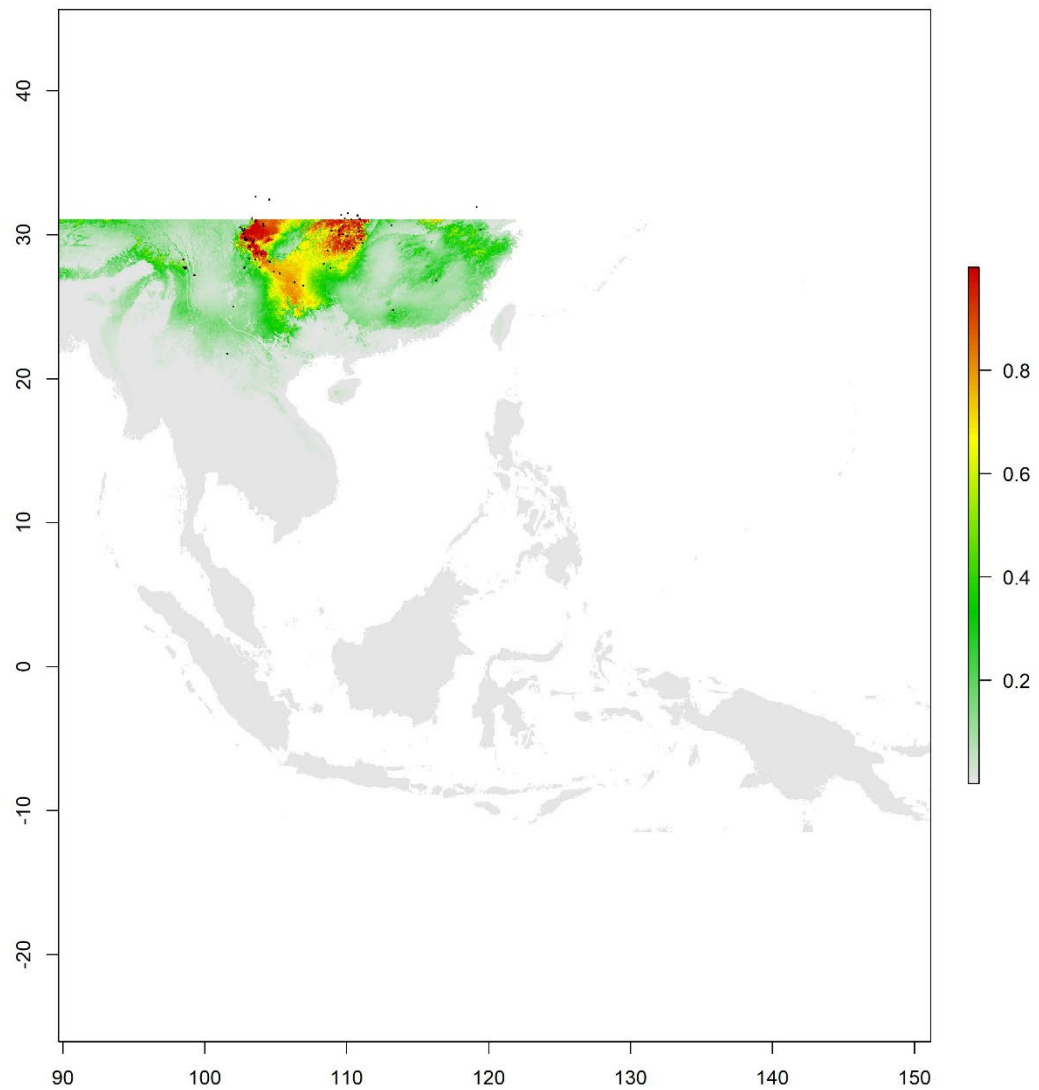


圖 十七、珙桐屬(*Davidia*)分布預測圖

潛在分布接近實際分布，只出現在特定省分。

## 泛喜馬拉雅

代表案例為亞麻科的異腺草屬(*Anisadenisa*)，適合棲地為泛喜馬拉雅地區和雲貴高原，潛在分布接近實際分布。

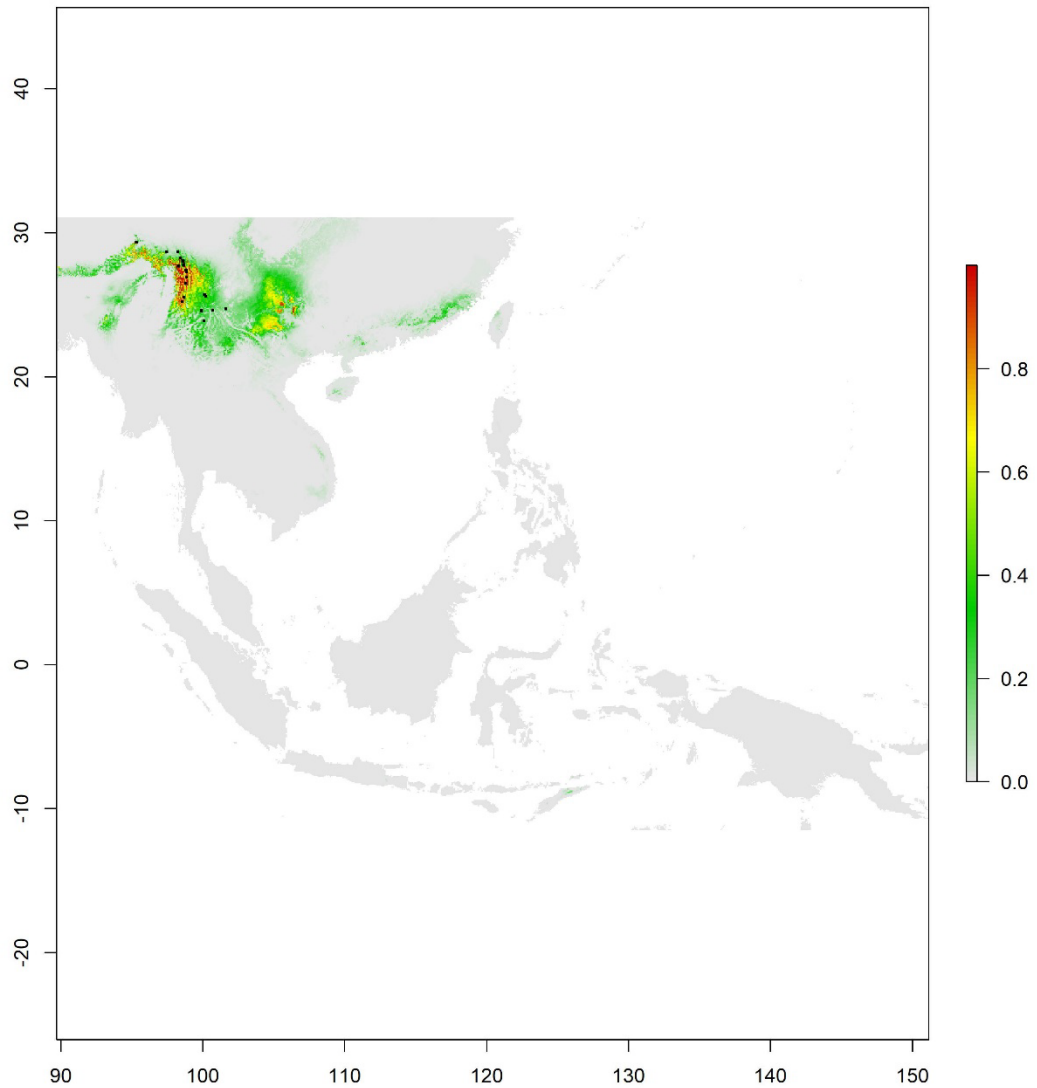


圖 十八、異腺草屬(*Anisadenisa*)分布預測圖

潛在分布接近實際分布。

## 馬來西亞區

代表案例為橄欖科的三個屬：山地欖屬(*Santiria*)、*Scutinanthe* 和 *Haplolobus*。其中，*Scutinanthe* 及 *Haplolobus* 在菲律賓出現了潛在分布。

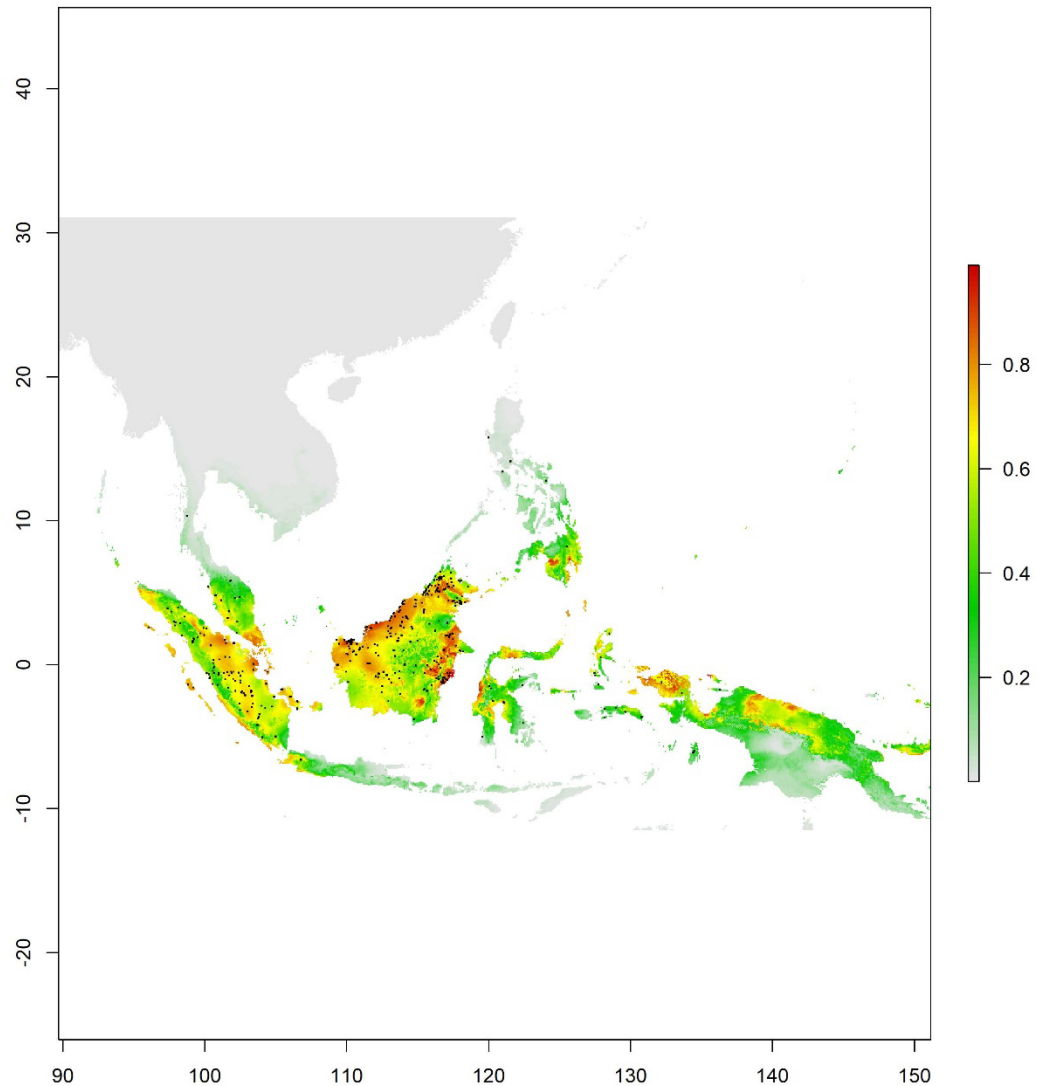


圖 十九、山地欖屬(*Santiria*)分布預測圖

潛在分布接近實際棲地，僅熱帶的馬來西亞區適合生長。

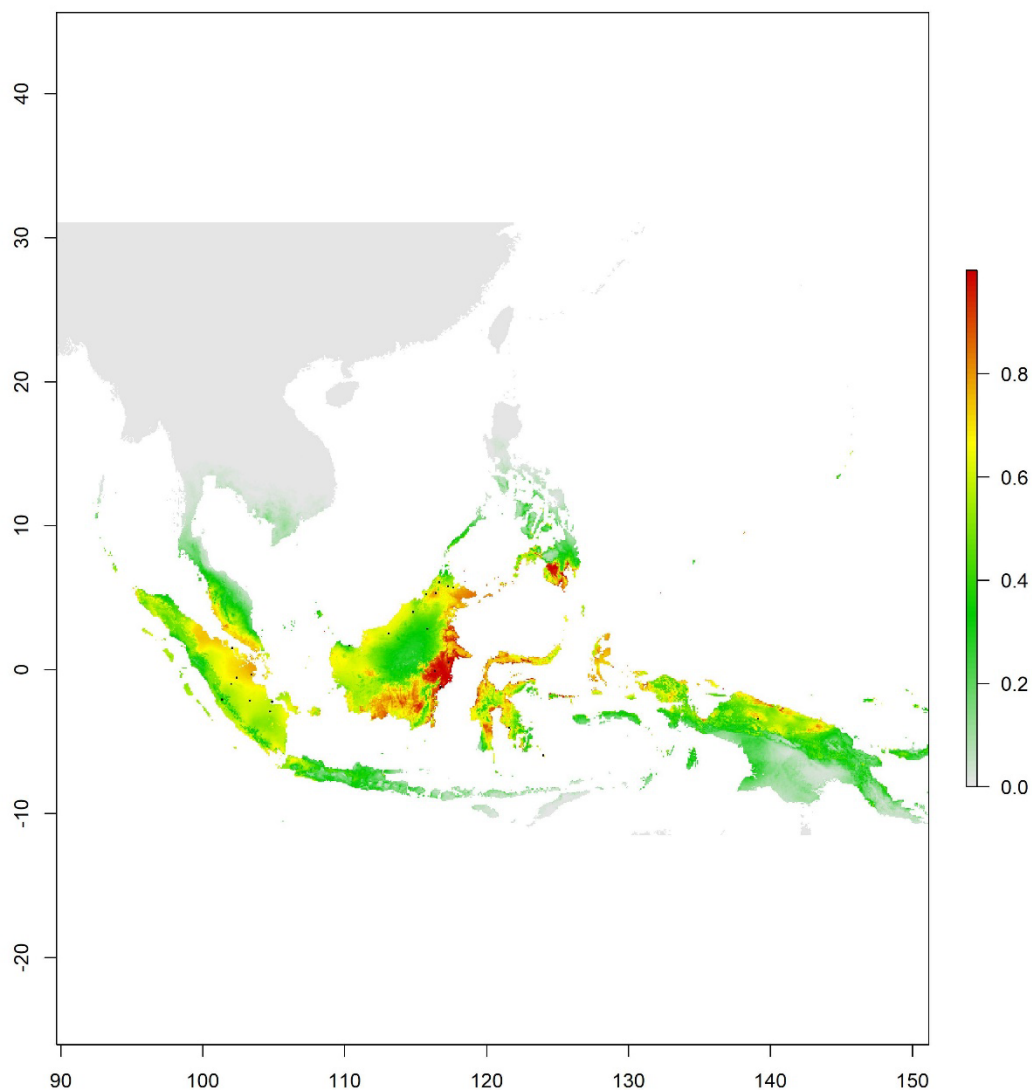


圖 二十、*Scutinanthe* 分布預測圖

不只在原有的巽他亞區和華萊士亞區，  
菲律賓亞區南側的民答那峨也出現了潛在分布。

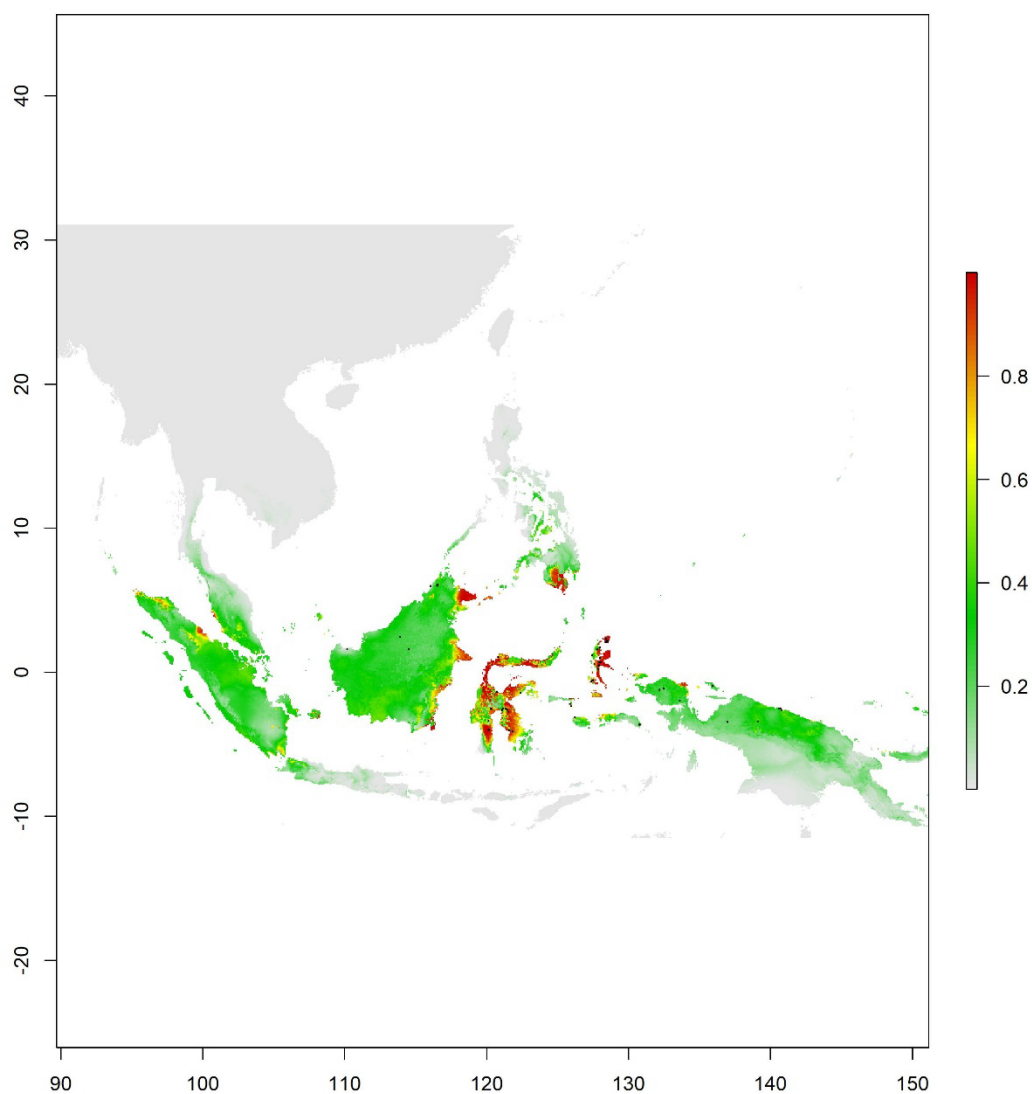


圖 二十一、*Haplolobus* 分布預測圖

不只在原有的巽他亞區和華萊士亞區，  
菲律賓亞區南側的民答那峨也出現了潛在分布。

## 巽他亞區

代表案例為橄欖科 *Triomma*，在原生地東方的華萊士亞區及東北方民答那峨都出現了潛在分布。

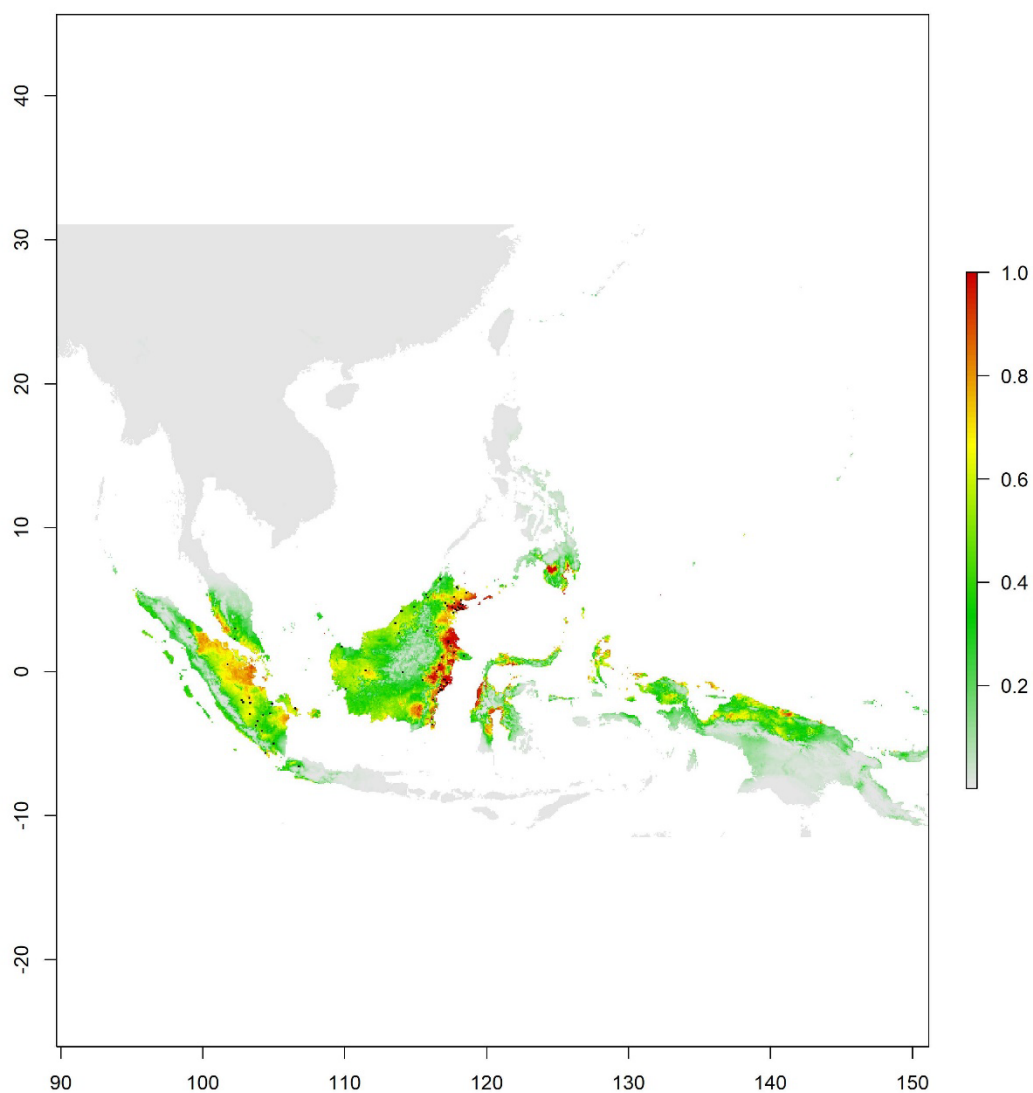


圖 二十二、*Triomma* 分布預測圖

在華萊士亞區及菲律賓的民答那峨都出現了潛在分布。

### 中南半島、爪哇與菲律賓

以橄欖科的馬蹄果屬(*Protium*)為代表案例，可見其在華萊士亞區及中國的海南島出現了潛在分布。

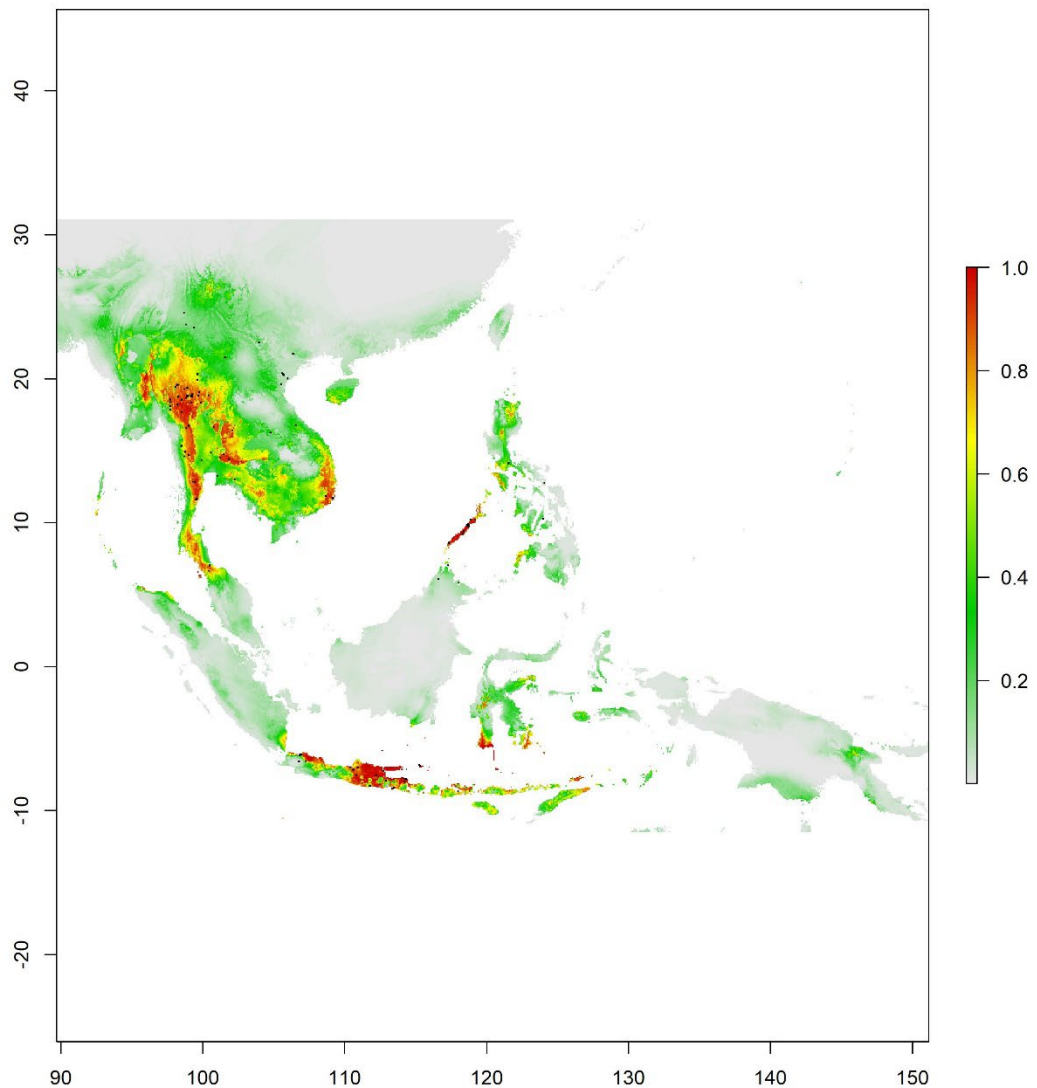


圖 二十三、馬蹄果屬(*Protium*)分布預測圖

在華萊士亞區及中國的海南島出現了潛在分布。

## 中南半島及中國

代表案例為亞麻科的青籬柴屬(*Tirpitzia*)和石海椒屬(*Reinwardtia*)以及藍果樹科的大果五加屬(*Diplopanax*)。三屬植物皆出現額外的潛在棲地。

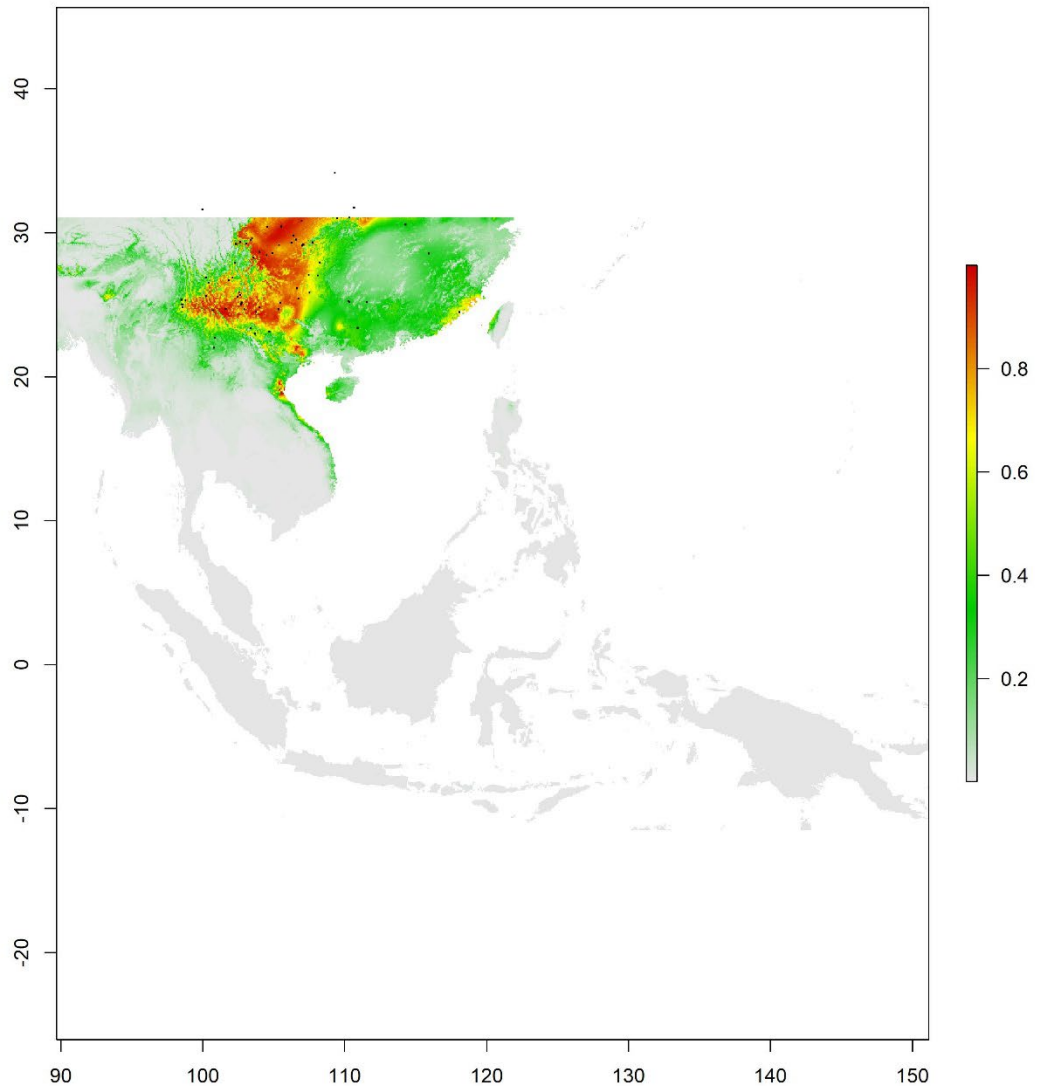


圖 二十四、石海椒屬(*Reinwardtia*)分布預測圖

臺灣西部、澎湖及海南為潛在分布範圍。

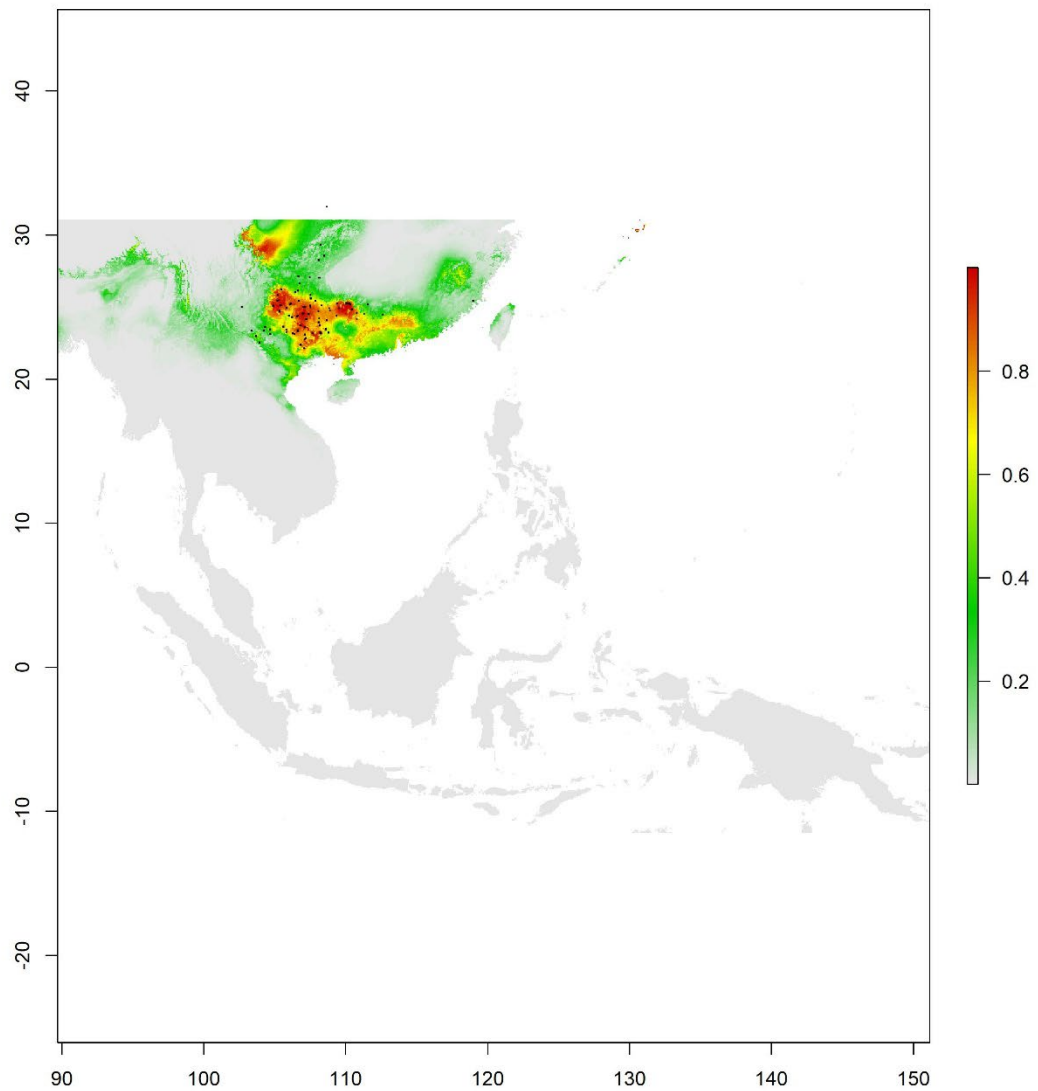


圖 二十五、青籬柴屬(*Tirpitzia*)分布預測圖

琉球群島為潛在分布範圍。

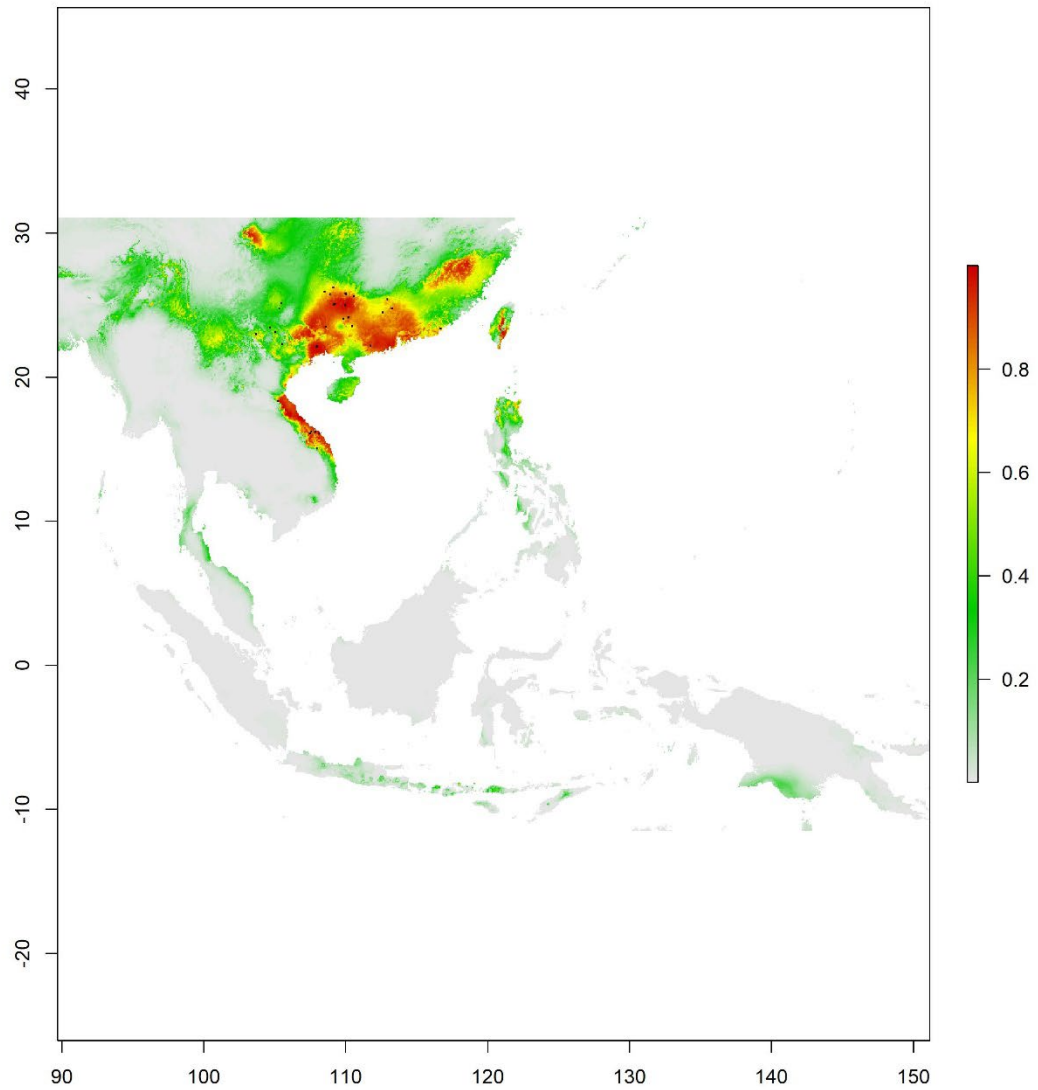


圖 二十六、大果五加屬(*Diplopanax*)分布預測圖

臺灣與菲律賓北部為潛在分布範圍。

## 東南亞

買麻藤科(Gnetaceae)、藍果樹科的單室茱萸屬(*Mastixia*)在東亞的臺灣及琉球出現潛在分布。金殼果科(Chrysobalanaceae)、橄欖科的非洲梨屬(*Dacryodes*)、龍腦香科(Dipterocarpaceae)、金蓮木科(Ochnaceae)、豬籠草科(Nepenthaceae)及小盤木科(Pandaceae)的預測分布同樣在東南亞範圍，沒有到緯度較高的東亞。

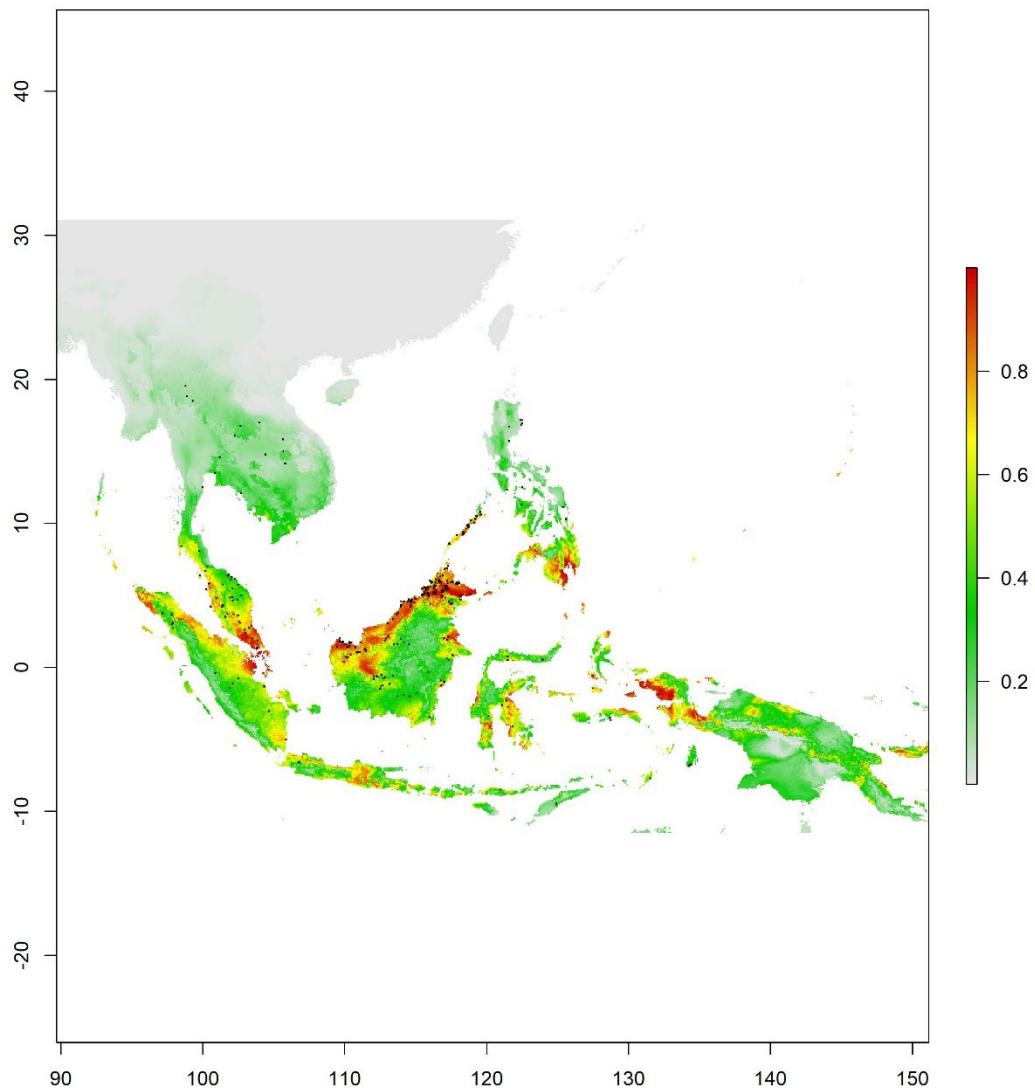


圖 二十七、金殼果科(Chrysobalanaceae)分布預測圖

潛在分布接近實際分布。

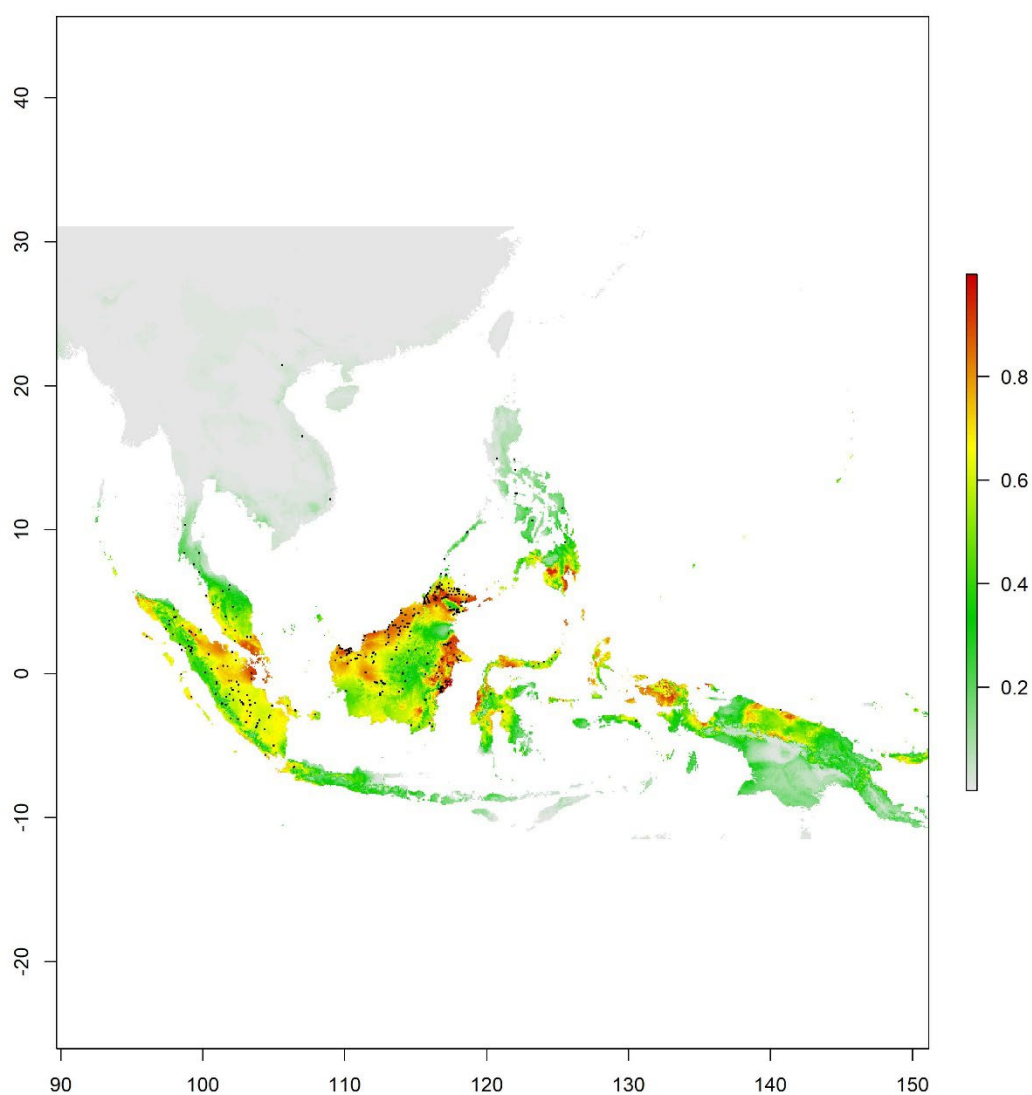


圖 二十八、非洲梨屬(*Dacryodes*)分布預測圖

潛在分布接近實際分布。

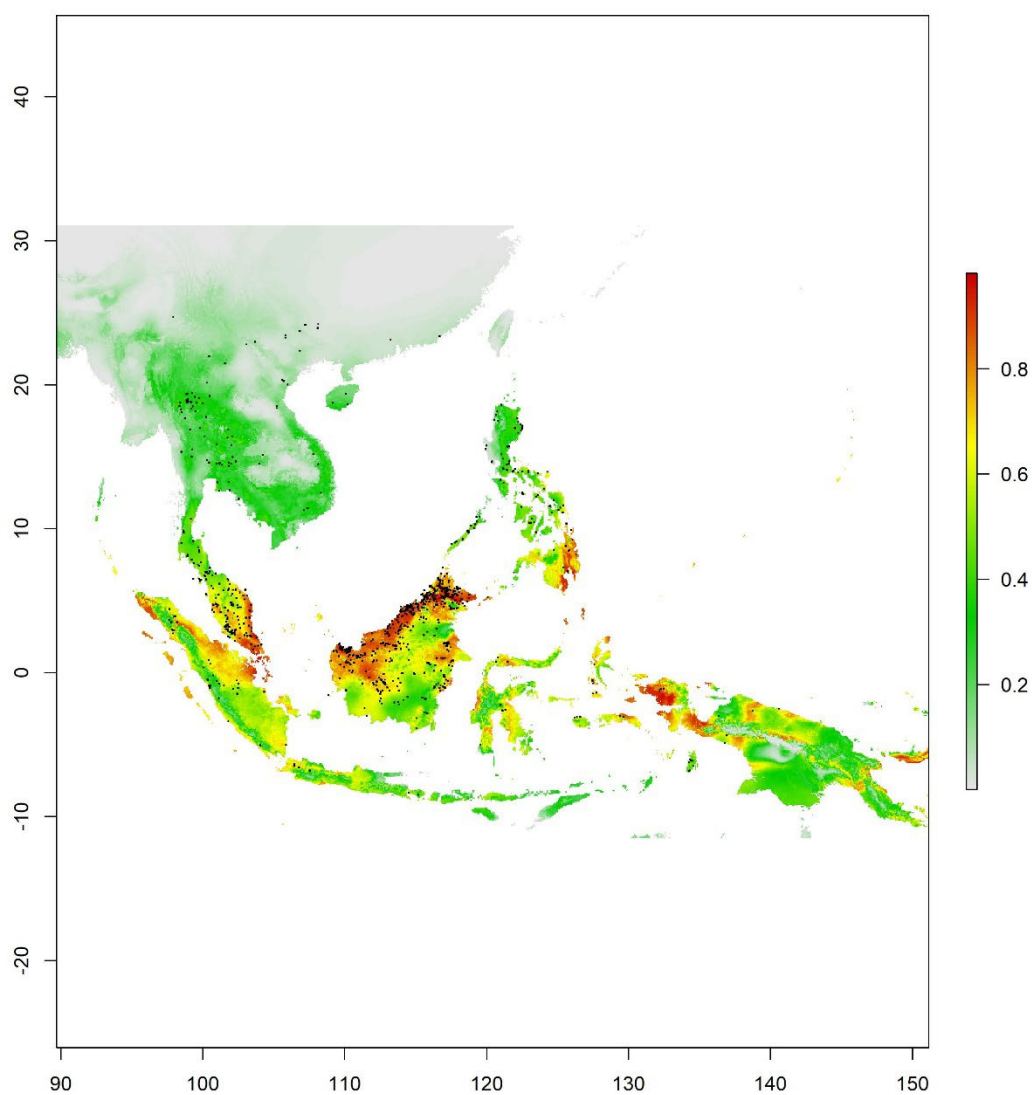


圖 二十九、龍腦香科(Dipterocarpaceae)分布預測圖

潛在分布接近實際分布。

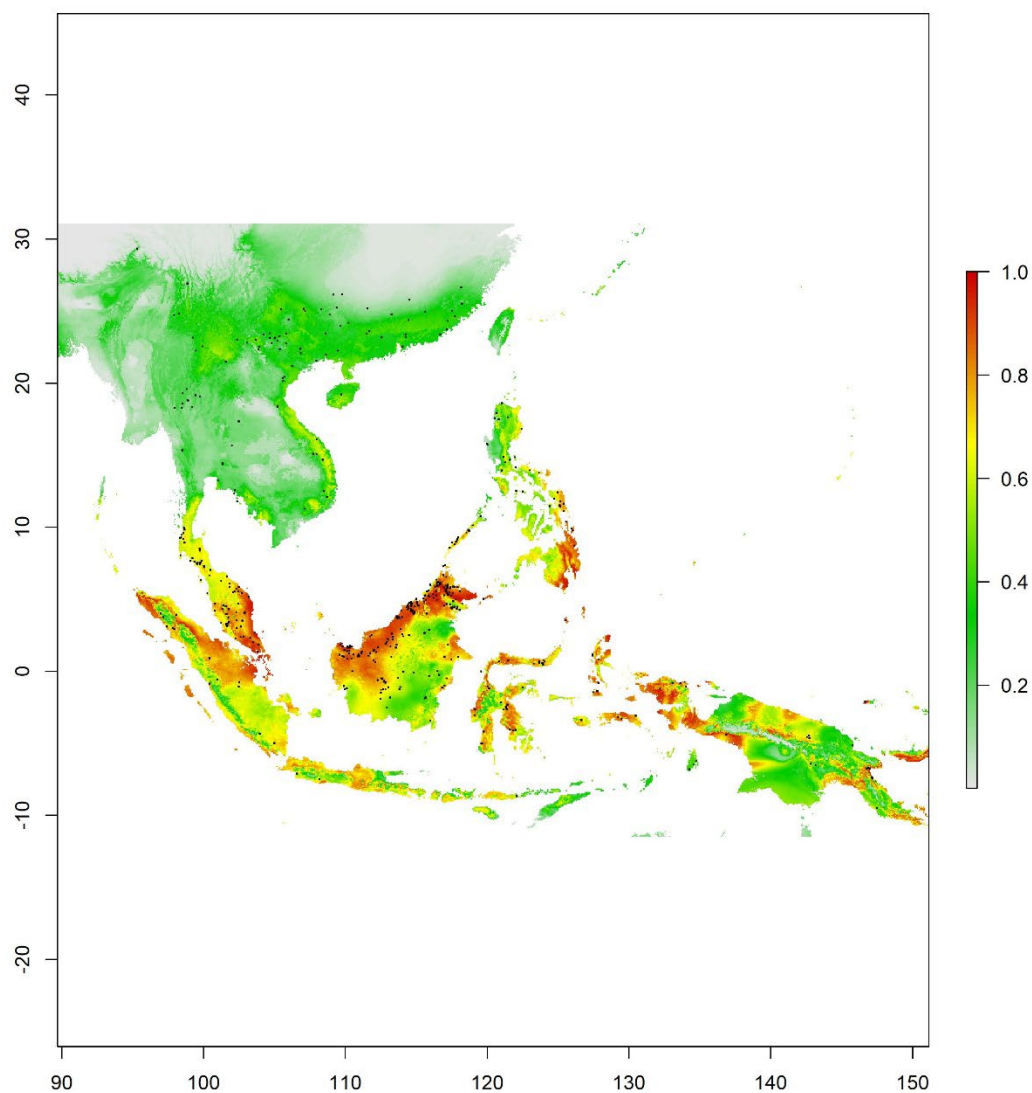


圖 三十、買麻藤科(Gnetaceae)分布預測圖

臺灣和琉球為潛在分布範圍。

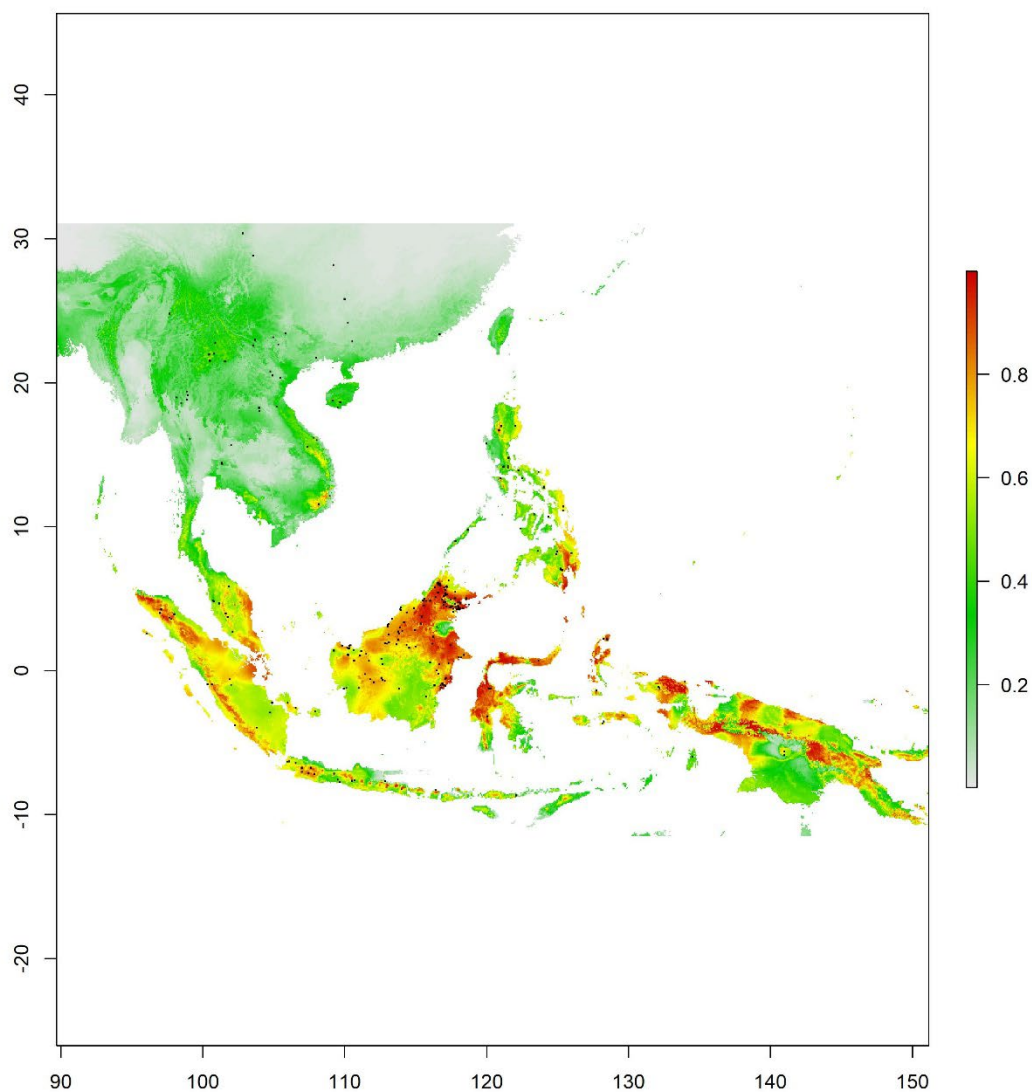


圖 三十一、單室茛菪屬(*Mastixia*)分布預測圖

臺灣和琉球為潛在分布範圍。

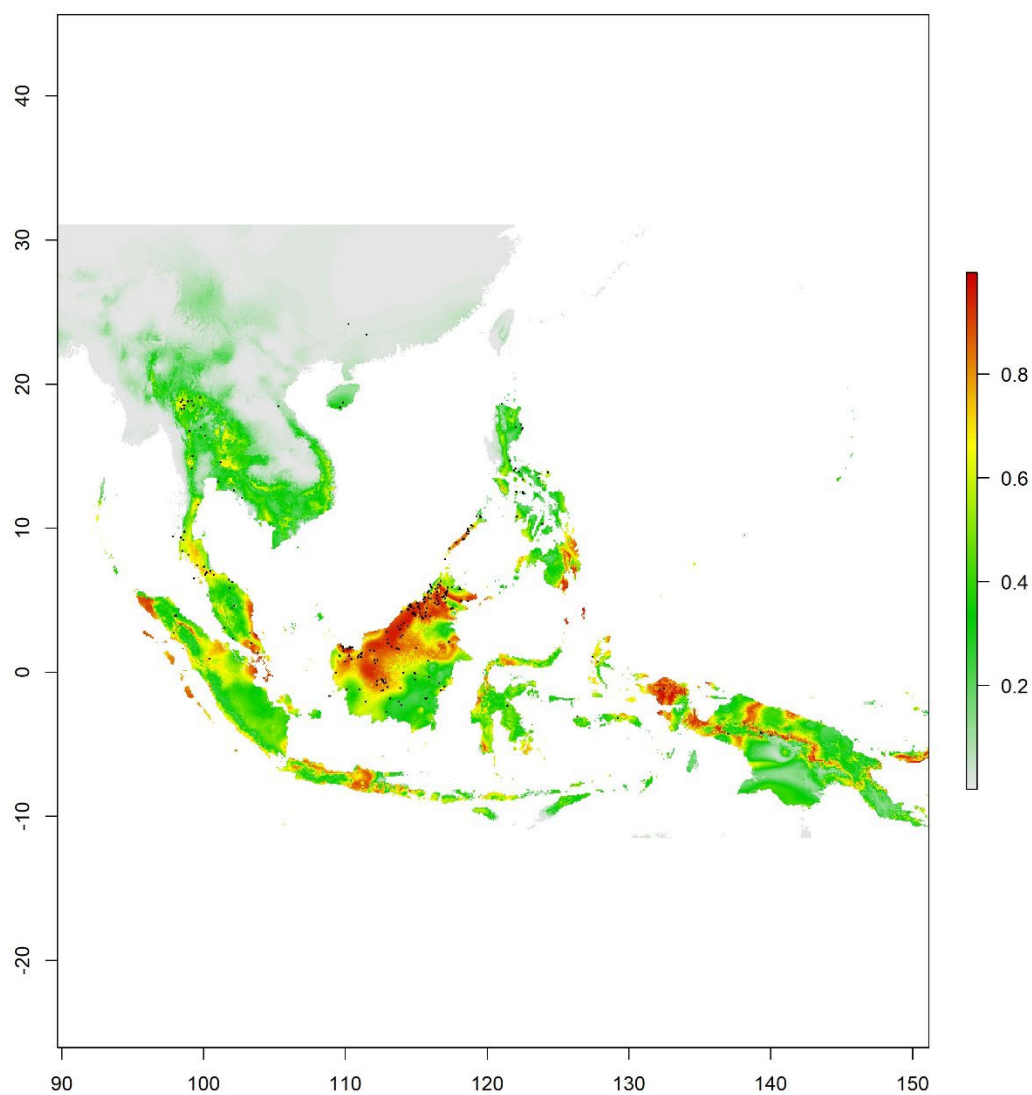


圖 三十二、金蓮木科(Ochnaceae)分布預測圖

潛在分布接近實際分布。

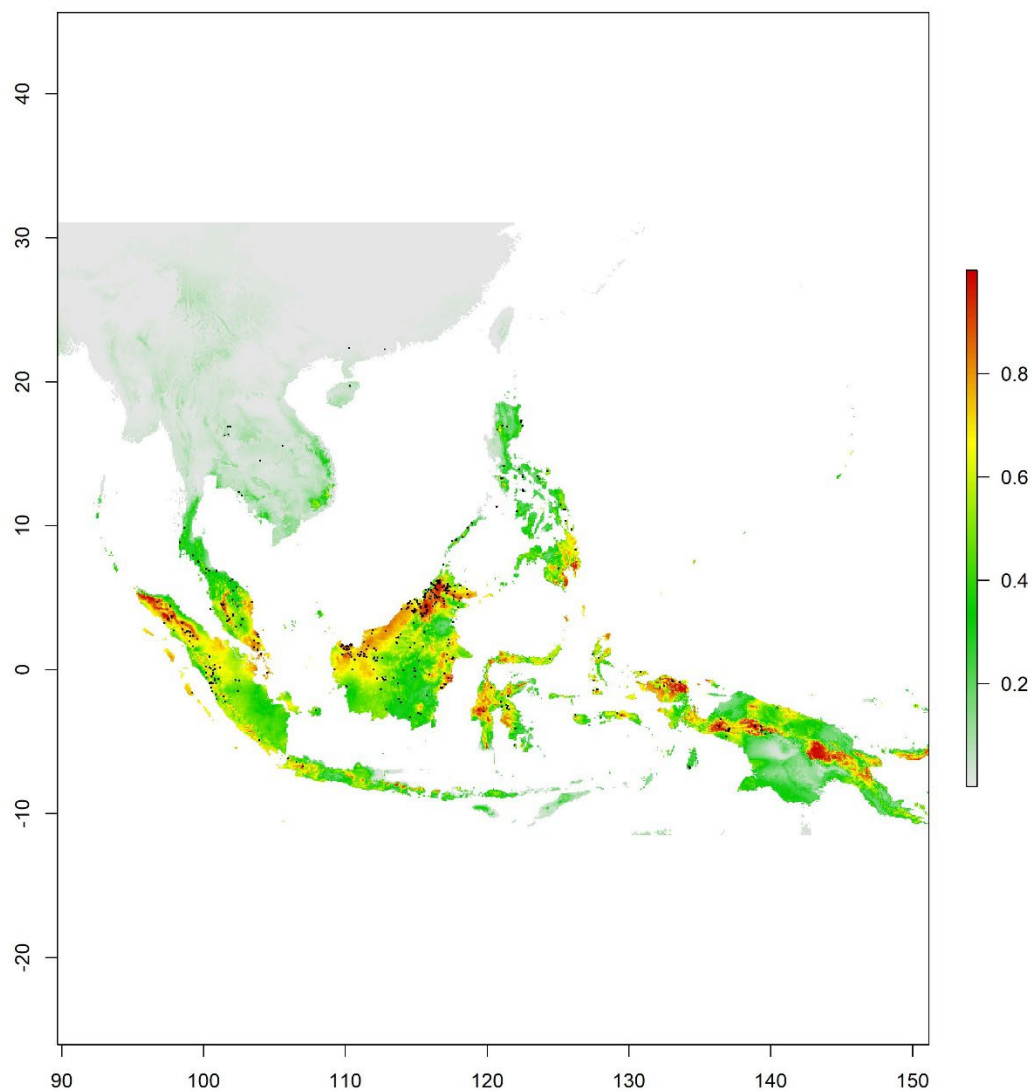


圖 三十三、豬籠草科(Nepenthaceae)分布預測圖

潛在分布接近實際分布。

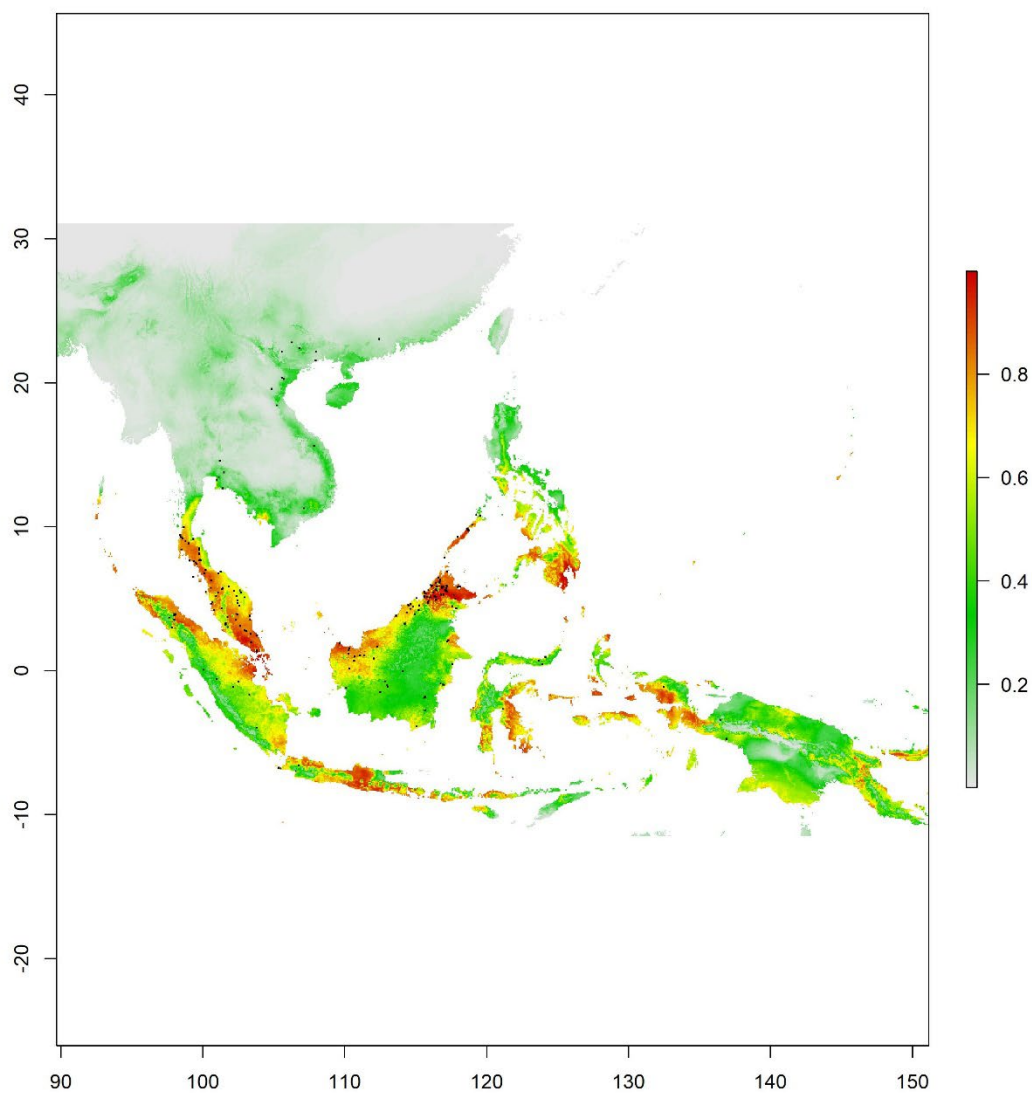


圖 三十四、小盤木科(Pandaceae)分布預測圖

潛在分布接近實際分布。



### 3.4 準確度評估

Maxent 能夠產生繪製每次模擬的 ROC，並且產生 AUC 值，作為模型準確度評估的參考。表四為各類群的 AUC 值，各類群的 ROC 詳見附錄三。根據邱清安等，2014 的分類方式，AUC 值>0.9 為表現傑出、0.9-0.8 為表現良好、0.8-0.7 為尚可、0.7-0.6 為低劣、0.5-0.6 為失敗。

表 四、棲地模擬結果的準確度評估

| 中文科名 | 拉丁科名             | 中文屬名 | 拉丁屬名               | AUC   | 表現 |
|------|------------------|------|--------------------|-------|----|
| 橄欖科  | Buseraceae       |      |                    | 0.813 | 良好 |
| 橄欖科  | Buseraceae       | 橄欖屬  | <i>Canarium</i>    | 0.773 | 尚可 |
| 橄欖科  | Buseraceae       | 非洲梨屬 | <i>Dacryodes</i>   | 0.896 | 良好 |
| 橄欖科  | Buseraceae       | 山地欖屬 | <i>Santiria</i>    | 0.899 | 良好 |
| 橄欖科  | Buseraceae       | 嘉欖屬  | <i>Garuga</i>      | 0.84  | 良好 |
| 橄欖科  | Buseraceae       |      | <i>Protium</i>     | 0.915 | 傑出 |
| 橄欖科  | Buseraceae       |      | <i>Scutinanthe</i> | 0.912 | 傑出 |
| 橄欖科  | Buseraceae       |      | <i>Haplolobus</i>  | 0.939 | 傑出 |
| 橄欖科  | Buseraceae       |      | <i>Triomma</i>     | 0.946 | 傑出 |
| 金殼果科 | Chrysobalanaceae |      |                    | 0.894 | 良好 |
| 牛栓藤科 | Connaraceae      |      |                    | 0.803 | 良好 |
| 龍腦香科 | Dipterocarpaceae |      |                    | 0.834 | 良好 |
| 買麻藤科 | Gnetaceae        |      |                    | 0.79  | 尚可 |
| 亞麻科  | Linaceae         | 異腺草屬 | <i>Anisadenisa</i> | 0.985 | 傑出 |
| 亞麻科  | Linaceae         | 青籬柴屬 | <i>Tirpitzia</i>   | 0.963 | 傑出 |
| 亞麻科  | Linaceae         | 石海椒屬 | <i>Reinwardtia</i> | 0.94  | 傑出 |



|      |              |       |                    |       |    |
|------|--------------|-------|--------------------|-------|----|
| 豬籠草科 | Nepenthaceae |       |                    | 0.884 | 良好 |
| 藍果樹科 | Nyssaceae    | 珙桐屬   | <i>Davidia</i>     | 0.953 | 傑出 |
| 藍果樹科 | Nyssaceae    | 大果五加屬 | <i>Diplopanax</i>  | 0.952 | 傑出 |
| 藍果樹科 | Nyssaceae    | 藍果樹屬  | <i>Nyssa</i>       | 0.87  | 良好 |
| 藍果樹科 | Nyssaceae    | 單室茱萸屬 | <i>Mastixia</i>    | 0.816 | 良好 |
| 金蓮木科 | Ochnaceae    |       |                    | 0.875 | 良好 |
| 小盤木科 | Pandaceae    |       |                    | 0.873 | 良好 |
| 蕁麻科  | Urticaceae   | 瘤冠麻屬  | <i>Cypholophus</i> | 0.93  | 傑出 |
| 蕁麻科  | Urticaceae   | 水絲麻屬  | <i>Maoutia</i>     | 0.848 | 良好 |



## 四、討論

### 4.1 東南亞的熱帶植物是否能在東亞生長?

以下將根據表 3 的對照表以及 3.3 的分布預測結果討論在東亞及東南亞區域的植物分布屏障，主要關注氣候屏障以及限制陸生植物擴散的物理屏障——海洋(Cox et al., 2016)。

首先要回答的問題是，東南亞的熱帶植物是否能夠適應東亞的氣候?研究類群當中，西太平洋及東亞兩大類是東亞分布有涵蓋全北域東亞的植物，其它類別(東南亞及東南亞特定區域)皆僅分布在古熱帶域的東南亞或是其它洲的熱帶地區。這些熱帶植物的潛在分布範圍是否有涵蓋到緯度較北的東亞，可以反映出氣候的緯度梯度差異以及地形和季風形成的不同氣候特徵對於植物分布的限制情形。從分布預測圖觀察熱帶植物的潛在分布範圍可以看到，大多數的類群的潛在分布僅限於熱帶區域，包含:橄欖科的山地欖屬、*Scutinanthe*、*Haplolobus*、*Triomma*、*Protium*、*Dacryodes*、龍腦香科(Dipterocarpaceae)、金蓮木科(Ochnaceae)、豬籠草科(Nepenthaceae)和小盤木科(Pandaceae)。只有買麻藤科(Gnetaceae)和藍果樹科的單室茱萸屬(*Mastixia*)以及分布於中南半島及中國南部的亞麻科石海椒屬(*Reinwardtia*)和青籬柴屬(*Tirpitzia*)以及藍果樹科的大果五加屬(*Diplopanax*)在緯度較高的東亞區域出現潛在分布。這樣的結果支持第一個假說:分布於東南亞的熱帶植物，分布受到氣候所限制，適合的棲地不包含緯度較高的東亞。代表在大空間尺度下氣候是植物分布的重要限制。



## 4.2 東亞及東南亞的植物分布屏障

預測出東南亞熱帶植物潛在分布的北界後，將討論另一個問題：在緯度相近區域的不同亞區間，限制植物分布的因子是氣候還是物理屏障？

在東亞，多數類群在原本沒有分布的島嶼，台灣本島或琉球群島出現了潛在分布。包含牛栓藤科(Connaraceae)、藍果樹科的藍果樹屬(*Nyssa*)、蕁麻科的瘤冠麻屬(*Cypholophus*)和水絲麻屬(*Maoutia*)、橄欖科(Buseraceae)的橄欖屬(*Canarium*)和嘉欖屬(*Garuga*)。其中，牛栓藤科(Connaraceae)及蕁麻科的水絲麻屬(*Maoutia*)皆只分布於綠島、蘭嶼，蕁麻科的瘤冠麻屬(*Cypholophus*)在台灣本島只有花蓮可見，但此三類植物在台灣本島皆有潛在分布，蕁麻科二屬在東部的預測還達到極度適合(出現機率 $>0.8$ ，紅色)，可推測其未產於台灣的原因並非氣候限制，較有可能是因為受到海洋的物理屏障阻隔。

而在東南亞，生物在受到海洋阻隔的各個島嶼間的演化歷史是熱門的研究主題。透過物種分布模型，我們可以更清楚植物在這些半島或島嶼間分布的限制是否和過去認為一樣歸因於海洋的屏障，還是需要再加上氣候的限制？

本文根據孟宏虎、宋以剛，2023 整理的四個東南亞生物地理分區，挑選只有分布在單一或部分分區的植物類群做為案例，了解潛在棲地是否包含其它地區，以闡明氣候和海洋屏障在此區域的植物分布中扮演的角色。根據分布預測圖，僅分布在特定亞區的藍果樹科藍果樹屬(*Nyssa*)和大果五加屬(*Diplopanax*)、蕁麻科瘤冠麻屬(*Cypholophus*)和水絲麻屬(*Maoutia*)、橄欖科的 *Scutinanthe*、*Haplolobus*、*Triomma* 和馬蹄果屬(*Protium*)均在其它分區出現潛在分布(表三)。其中，在婆羅洲及蘇拉威西有分布的 *Scutinanthe*、*Haplolobus* 在菲律賓的民答那峨出現潛在分布；僅分布於巽他亞區的 *Triomma* 也在蘇拉



威西及民答那峨出現潛在分布；分布在中南半島、爪哇與菲律賓的馬蹄果屬(*Protium*)則在蘇拉威西出現了潛在分布；分布於越南和中國南部的大果五加屬(*Diplopanax*)則是在菲律賓呂宋出現潛在分布。歸納上述情況可以發現，馬來西亞區(巽他、華萊士、菲律賓)僅分布在部分亞區的六個屬全部在其它亞區有出現潛在分布棲地；然而，分布在中南半島及中國南部的亞麻科石海椒屬(*Reinwardtia*)和青籬柴屬(*Tirpitzia*)在馬來西亞區卻完全沒有適合棲地。以上結果顯示，在中南半島區與馬來西亞區之間具有一定程度氣候差異，除了物理屏障，氣候屏障也是限制植物分布的因子。而在馬來西亞區的巽他亞區、華萊士亞區、菲律賓亞區之間，所有植物的分布預測皆包含了各亞區，顯示馬來西亞區內氣候條件接近，植物的分布主要是受到海洋屏障的限制，符合第二個假說：僅分布於單一或部分生物地理亞區的植物，在其它區域依然存在潛在棲地，但因為海洋的阻隔無法擴散過去。代表在小空間尺度下物理屏障對於植物分布的影響大於氣候。也符合該地區先前的歷史生物地理研究的論點(Welzen et al., 2003；Welzen et al., 2011；Metcalf, 2013；Ung et al., 2016；孟宏虎、宋以剛，2023)。

氣候分類地圖(Beck et al., 2018；圖)的差異可以解釋東亞、中南半島區、馬來西亞區三大區域的差異。根據柯本氣候分類法(Köppen-Geiger climate classification；Kottek et al., 2006)，東亞的華東和台灣屬於副熱帶濕潤氣候(Cfa，C:暖溫帶、f:濕地型、a 夏季炎熱)，中南半島區則是熱帶季風氣候(Am，A:赤道帶、m 季風型)，馬來西亞區則是屬於熱帶雨林氣候(Af，A:赤道帶、f:g 濕地型)。氣候分區說明了為何馬來西亞區各亞區的植物皆在其它亞區有潛在分布，而中南半島區的植物卻在馬來西亞區沒有潛在分布。

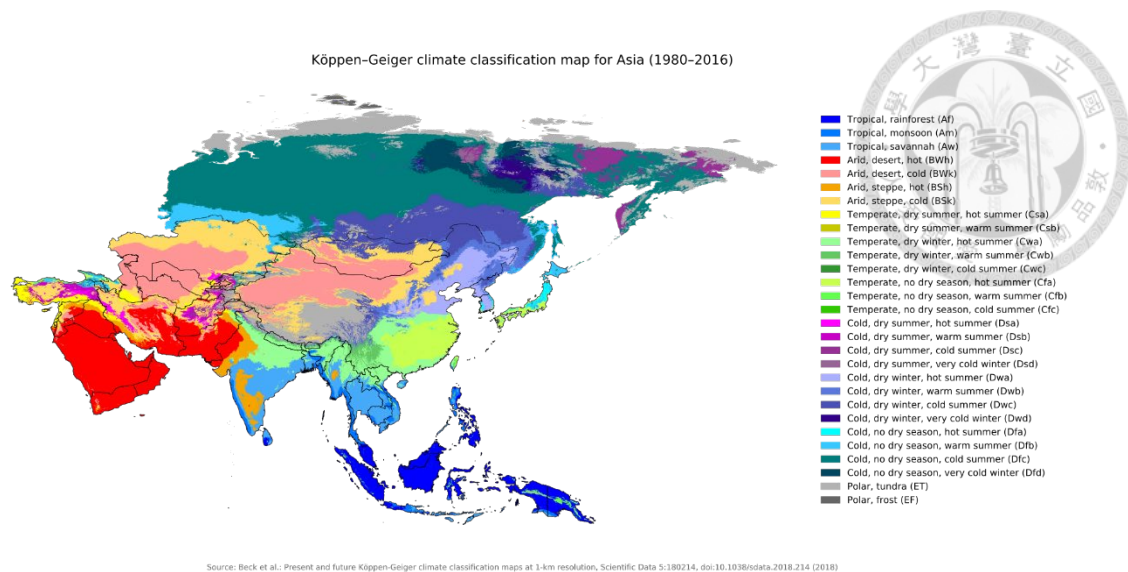
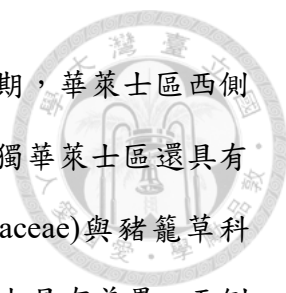


圖 三十五、亞洲的氣候分區(Beck et al., 2018)

#### 4.3 不同類群植物的分布限制

氣候條件的限制和海洋的阻隔對每類植物的影響不同，光照、土壤等其它環境因子也會影響植物的分布。擴散能力也是很重要的因子，長距離擴散能力的植物能夠跨越屏障，擴散到有利棲地(Smith et al., 2015)。珙桐屬(*Davidia*)和異腺草屬(*Anisadenisa*)就只能生長在特定棲地。珙桐屬(*Davidia*)是孑遺植物，偏好中海拔常綠闊葉落葉闊葉混交林的陰濕處(胡瓊，2013)，數量稀少，屬於中國國家一級重點保護植物。異腺草屬(*Anisadenisa*)則是僅生長在海拔 1600-3200 公尺的山地或高原(Li, 2007)。此二屬的潛在分布預測也只限於特定區域，顯示其為狹生態型的屬。生長於中國南部及中南半島的青籬柴屬(*Tirpitzia*)及石海椒屬(*Reinwardtia*)偏好低到中海拔環境，且喜歡石灰岩土壤。蘭嶼、綠島的牛栓藤科(Connaraceae)及蕁麻科水絲麻屬(*Maoutia*)在台灣具有潛在分布，顯示其分布限制並非氣候，可能是受到太平洋阻隔而無法到本島。

而對於馬來群島及東亞島弧的植物來說，除了環境偏好外，種子的傳播是否能跨越海洋也會影響它們的分布範圍。Welzen et al., 2011 提到，能分布



到華萊士區的植物多數為草本且具有高傳播能力。冰河時期，華萊士區西側的巽他陸棚與東側的莎湖分別與亞洲大陸和澳洲相連，唯獨華萊士區還具有海峽分隔；此時期的巽他陸棚成為龍腦香科(Dipterocarpaceae)與豬籠草科(Nepenthaceae)的多樣性中心。華萊士區與兩側區域的氣候也具有差異，兩側為終年潮濕，而華萊士區具有乾季。

東南亞熱帶雨林植物中，橄欖科 *Triomma* 能透過風傳播，其它屬則利用吸引動物食用果實來傳播(Weeks et al., 2005)。金殼果科(Chrysobalanaceae)也同樣利用動物傳播(Prance, 1984)。買麻藤科(Gnetaceae)具有特化的種子，有被觀察到海漂紀錄，被認為能跨越海洋(Won and Renner, 2006)，小盤木科(Pandaceae)和金蓮木科(Ochnaceae)同樣也被認為具有跨海的能力(Gallaher et al., 2015; Schneider et al., 2022)。龍腦香科(Dipterocarpaceae)則缺乏肉質果實，藉由萼片伸長形成翅膀在森林中傳播，且多數傳播距離低於 10 公尺，屬於本地的(local)傳播(Smith et al., 2015)。而豬籠草科(Nepenthaceae)的擴散歷史被認為是透過陸橋而非長距離離傳播(Meimberg et al., 2008)，氣候和土壤很大程度影響它們在東南亞的分布(Clarke and Moran, 2016)。

#### 4.4 結語

過去東南亞及東亞的生物地理研究主要透過歷史來源解釋物種分布範圍，或透過物種名錄的比對劃分生物地理區域。本研究透過物種分布模型—Maxent 的潛在分布與實際分布，釐清植物的分布的限制除了海洋外是否包含了氣候。結果發現東亞、中南半島區、馬來西亞區三區域的植物在另外兩區域少有潛在分布，然而馬來西亞區內分布於特定亞區的植物皆在其它亞區有潛在分布，說明在較大的空間尺度下，植物的分布受到氣候限制，較難擴散到其它的氣候區。而在氣候接近的東南亞島嶼中，儘管部分島嶼的氣候適合

一些類群，卻未見其分布，推測是受到海洋的阻隔而無法擴散。本研究透過物種分布模型模擬適合棲地，探討區域間及區域內兩種空間尺度中植物的分布是受到氣候或是海洋限制，為東亞及東南亞不同地區之間的植物群差異提供一個新的解釋。

## 參考文獻



- 大井次三郎(1936)。金平亮三氏, 增補改版台灣樹木誌, 1936。植物分類, 地理, 5(3), 217。
- 王文采(1992)。东亚植物区系的一些分布式样和迁移路线。植物分类学报, 30(1), 1-24。
- 王文采(1992)。东亚植物区系的一些分布式样和迁移路线 (续)。植物分类学报, 30(2), 97-117。
- 王荷生(1992)。植物區系地理。科學出版社。
- 冉挹芬(2012)。從生物多樣性資訊學觀點探討自然史博物館蒐藏數位化之應用。碩士論文。國立臺北藝術大學。臺灣博碩士論文知識加值系統。  
<https://hdl.handle.net/11296/5jxhey>。
- 江鴻猷、曾喜育、邱清安、曾彥學(2014)。樣本數量對最大熵物種分布模式 (MaxEnt) 準確度之影響: 以臺灣水青岡為例。林業研究季刊, 36(2), 101-113。
- 吳征鎰(2006)。种子植物分布区类型及其起源和分化。云南科技出版社。
- 应俊生、陈梦玲(2011)。中国植物地理。上海科學技術出版社。
- 沈中桴(1996)。臺灣的生物地理: 1. 背景。臺灣省立博物館年刊 39: 387-427。
- 沈中桴(1997)。臺灣的生物地理: 2. 一些初步思考與研究。臺灣省立博物館年刊 40: 361-450。
- 孟宏虎、宋以刚 (2023)。东南亚生物地理格局: 回溯与思考。生物多样性, 31, 23261。
- 林奐宇、李祈德 (2014)。森林植物的資料庫—談植物標本及其資訊效益之運用。台灣林業, 40 (4): 35—40。
- 邱清安、徐憲生、林信輝(2014)。結合 GBIF 與 MaxEnt 預測臺灣赤楊之適宜生育地。Journal of Chinese Soil and Water Conservation, 45(3), 198-206。

金平亮三(1935)。樹木の地理的分布から見た紅頭嶼と比律賓との關係。日本林學會誌，17(7), 530-535。

柯啓樂 (2023)。以深度學習架構建立物種分布模型。〔碩士論文。國立臺灣大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。 <https://hdl.handle.net/11296/bym73h>。

胡瓊(2013)。《現代農業科技》：珙桐特徵特性及其育苗移栽技術。《現代農業科技》雜誌社。

耿煊(1956)。植物分類及植物地理論叢:初集。國立臺灣大學。農學院實驗林。

張慶恩(1967)。蘭嶼之森林植物。台灣林業季刊。3(2):1-42。

郭怡良、林大利、莊馥蔓、丁宗蘇(2014)。東亞主要島嶼繁殖鳥類相的生物地理界線。生物多樣性研究, 16(1):33-50。

鹿野忠雄(1933)。紅頭嶼の動物地理學的研究 4 附ワース線北端の問題。

Geographical Review of Japan, 9(8), 675-701.

曾文彬 (1993)。浅析台湾植物区系。厦门大学学报:自然科学版, 32(4), 480-483。

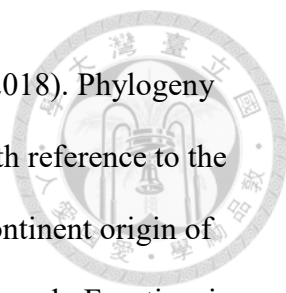
黃星凡 (2011)。臺灣植物相之歷史生物地理學。國立臺灣博物館學刊，64(3)，33-63。 <https://www.airitilibrary.com/Article/Detail?DocID=02570520-201109-201606060008-201606060008-33-63>

葉思佐 (2023)。優化物種分布模型之應用。〔博士論文。國立臺灣大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。 <https://hdl.handle.net/11296/854csw>。

劉棠瑞、林則桐(1978)。臺灣天然林之羣落生態研究 (四) 蘭嶼植羣與植相之研究。臺灣省立博物館科學年刊, 21, 1-80。

應俊生、徐國士(2002)。中國台灣種子植物區系的性質、特點及其與大陸植物區系的關係。植物分類學報 40: 1-51。

Bardon, L., Sothers, C., Prance, G. T., Malé, P. J. G., Xi, Z., Davis, C. C., ... & Chave, J. (2016). Unraveling the biogeographical history of Chrysobalanaceae from plastid genomes. American Journal of Botany, 103(6), 1089-1102.

- 
- Biswal, D. K., Debnath, M., Konhar, R., Yanthan, S., & Tandon, P. (2018). Phylogeny and biogeography of carnivorous plant family Nepenthaceae with reference to the Indian pitcher plant *Nepenthes khasiana* reveals an Indian subcontinent origin of *Nepenthes* colonization in South East Asia during the Miocene epoch. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 108.
- Bramley, G., Trias-Blasi, A. & Wilford, R. (2023). *The Kew Temperate Plant Families Identification Handbook*. Kew Publishing Royal Botanic Gardens, Kew
- Byng, J. W. (2014). *The Flowering Plants Handbook: A practical guide to families and genera of the world*. Plant Gateway Ltd.
- Clarke, C., & Moran, J. A. (2016). Climate, soils and vicariance-their roles in shaping the diversity and distribution of *Nepenthes* in Southeast Asia. *Plant and Soil*, 403, 37-51.
- Cox, C. B., Moore, P. D., & Ladle, R. J. (2016). *Biogeography: an ecological and evolutionary approach*. John Wiley & Sons.
- Daly, D. C., Harley, M. M., Martínez-Habibe, M. C., & Weeks, A. (2010). Burseraceae. In *Flowering Plants. Eudicots: Sapindales, Cucurbitales, Myrtaceae* (pp. 76-104). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Doreen L. Smith (1966). *Linaceae, Flora of Tropical East Africa*.
- Duvigneaud, P. (1961). *Dipterocarpaceae, Flora Zambesiaca* 1:2.
- 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(1), 677-697.
- Fick, S.E. and R.J. Hijmans (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302-4315.

- 
- Gallaher, T., Callmander, M. W., Buerki, S., & Keeley, S. C. (2015). A long distance dispersal hypothesis for the Pandanaceae and the origins of the *Pandanus tectorius* complex. *Molecular phylogenetics and evolution*, 83, 20-32.
- Hepper, F. N. (1958). *Connaraceae*, *Flora of West Tropical Africa* 1:2.
- Hsieh, C. F. (2002). Composition, Endemism and Phytogeographical Affinities of the Taiwan Flora. *TAIWANIA*, 47(4), 298-310.  
[https://doi.org/10.6165/tai.2002.47\(4\).298](https://doi.org/10.6165/tai.2002.47(4).298)
- Huang, J., & Ling, C. X. (2005). Using AUC and accuracy in evaluating learning algorithms. *IEEE Transactions on knowledge and Data Engineering*, 17(3), 299-310.
- Hutchinson, J. and Dalziel, J. M. (1958). *Urticaceae*, *Flora of West Tropical Africa* 1:2.
- Huxley, T. H. (1868). On the classification and distribution of the Alectoromorphae and Heteromorphae. In *Proceedings of the zoological Society of London* (Vol. 1868, p. 294).
- Kalkman, C. (1955). A plant-geographical analysis of the Lesser Sunda Islands. *Acta Botanica Neerlandica*, 4(2), 200-225.
- Kubota, Y., Kusumoto, B., Shiono, T., & Tanaka, T. (2017). Phylogenetic properties of Tertiary relict flora in the East Asian continental islands: imprint of climatic niche conservatism and in situ diversification. *Ecography*, 40(3), 436-447.
- Li, H. L. 1957. The genetic affinities of the Formosan flora. *Proceedings of the 8th Pacific Science Congress* 4: 189-195.
- Li, J. (2007). *Flora of China*. *Harvard Papers in Botany*, 13(2), 301-302.
- Liao, C. C., & Chen, C. H. (2017). Investigation of floristic similarities between Taiwan and terrestrial ecoregions in Asia using GBIF data. *Botanical Studies*, 58, 1-17.
- Lin, Y. S., Liao, J. R., Shiao, S. F., & Ko, C. C. (2021). Origin and potential expansion

- 
- of the invasive longan lanternfly, *Pyrops candelaria* (Hemiptera: Fulgoridae) in Taiwan. *Biology*, 10(7), 678.
- Ling, C. X., Huang, J., & Zhang, H. (2003). AUC: a better measure than accuracy in comparing learning algorithms. In *Advances in Artificial Intelligence: 16th Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence, AI 2003*, Halifax, Canada, June 11–13, 2003, Proceedings 16 (pp. 329-341). Springer Berlin Heidelberg.
- Meimberg, H., Wistuba, A., Dittrich, P., & Heubl, G. (2001). Molecular phylogeny of Nepenthaceae based on cladistic analysis of plastid trnK intron sequence data. *Plant Biology*, 3(2), 164-175.
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander Jr, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058-1069.
- Metcalf I (2013). ASIA | South-East, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.02721-4.
- Moran, J. A., Gray, L. K., Clarke, C., & Chin, L. (2013). Capture mechanism in Palaeotropical pitcher plants (Nepenthaceae) is constrained by climate. *Annals of Botany*, 112(7), 1279-1291.
- Nakamura, K., Suwa, R., Denda, T., & Yokota, M. (2009). Geohistorical and current environmental influences on floristic differentiation in the Ryukyu Archipelago, Japan. *Journal of Biogeography*, 36(5), 919-928.
- Phillips, S. J. 2017. A Brief Tutorial on Maxent. Available from url:[http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/).
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175.

Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175.

Pijl, L. (1982). Principles of dispersal in higher plants (No. Ed. 3, pp. x+-215). Berlin: Springer-Verlag.

Pompe Sven, Hanspach Jan, Badeck Franz, Klotz Stefan, Thuiller Wilfried and Kühn Ingolf (2008). Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany *Biol. Lett.* 4:564–567

Prance, G. T. (1984). Chrysobalanaceae. *Flora Malesiana-Series 1, Spermatophyta*, 10(1), 635-678.

Proctor, George R. (2012). *Flora of the Cayman Islands (Second Edition)*. Royal Botanic Gardens, Kew

Robson, N. K. B. (1963). Ochnaceae, *Flora Zambesiaca* 2:1.

Schneider, J. V., Jungcurt, T., Cardoso, D., Amorim, A. M., Paule, J., & Zizka, G. (2022). Predominantly eastward long-distance dispersal in pantropical Ochnaceae inferred from ancestral range estimation and phylogenomics. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 813336.

Schouw, J. F. (1823). *Grundzuge einer allgemeinen Pflanzengeographie (Vol. 1)*. G. Reimer.

Smith, A. R. (1988). Pandaceae. *Flora of Tropical East Africa*.

Takhtajan, A., Th.J. Crovello and A. Cronquist (1986). *Floristic Regions of the World*.

Title, P. O., & Bemmels, J. B. (2018). ENVIREM: an expanded set of bioclimatic and topographic variables increases flexibility and improves performance of ecological niche modeling. *Ecography*, 41(2), 291-307.

Utteridge, T. M. A. and Jennings, L. V. S. (2022). *Trees of New Guinea*. Kew Publishing. Royal Botanic Gardens, Kew

Waltari, E., Schroeder, R., McDonald, K., Anderson, R. P., & Carnaval, A. (2014).

Bioclimatic variables derived from remote sensing: Assessment and application for species distribution modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(10), 1033-1042.

Weeks, A., Daly, D. C., & Simpson, B. B. (2005). The phylogenetic history and biogeography of the frankincense and myrrh family (Burseraceae) based on nuclear and chloroplast sequence data. *Molecular phylogenetics and evolution*, 35(1), 85-101.

Wei, B. O., Wang, R., Hou, K., Wang, X., & Wu, W. (2018). Predicting the current and future cultivation regions of *Carthamus tinctorius* L. using MaxEnt model under climate change in China. *Global Ecology and Conservation*, 16, e00477.

Wild, H. (1963). Burseraceae, *Flora Zambesiaca* 2:1.

Wisz, M. S., Hijmans, R. J., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C. H., Guisan, A., & NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. (2008). Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and distributions*, 14(5), 763-773.

## 附錄一、研究植物介紹



各類群的分布資訊與簡介如下，各科的分布圖取自 Angiosperm Phylogeny Website(<https://www.mobot.org/mobot/research/apweb/>)，各屬分布圖取自 Plants of the World Online(<https://powo.science.kew.org/>):

### 西太平洋

**牛栓藤科(Connaraceae):**藤本、灌木或小喬木。約 20 個屬、200 多個物種。兩性花、5 瓣(Hepper, 1958)。熱帶廣布，在台灣分布於蘭嶼及綠島，包含牛栓藤屬(*Connarus*)與紅葉藤屬(*Rourea*)。



牛栓藤科(Connaraceae ; By Vinayaraj - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=27375503>)



牛栓藤科(Connaraceae)分布圖

藍果樹科—藍果樹屬(*Nyssa*):分布於亞洲的中國到馬來西亞以及北美。



藍果樹屬(*Nyssa*，由 Daderot -自行拍攝，公有領域，

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16168605>)



藍果樹屬(*Nyssa*)分布圖

蕁麻科—瘤冠麻屬(*Cypholophus*):花序腋生。瘦果。分布於印度、中國大陸、菲律賓、蘭嶼及花蓮(Utteridge and Jennings, 2022)。



瘤冠麻屬(*Cypholophus*，由 Auckland Museum, CC BY 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=64925682>)



瘤冠麻屬(*Cypholophus*)分布圖

**蕁麻科—水絲麻屬(*Maoutia*):**灌木或小喬木。葉互生。花序腋生。瘦果。分  
 布於蘭嶼、菲律賓、爪哇、新幾內亞、琉球(Utteridge and Jennings, 2022)。

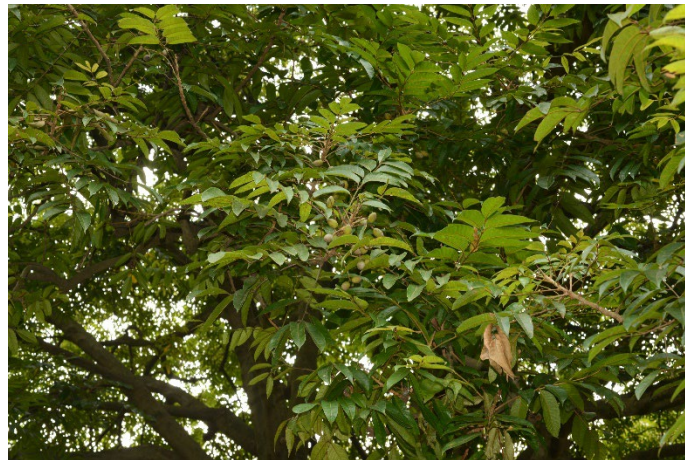


水絲麻屬(*Maoutia*，蘭嶼水絲麻，*Maoutia setosa*，來源:胡哲明)



水絲麻屬(*Maoutia*)分布圖

**橄欖科(Burseraceae):**分布在熱帶地區，約 18 屬 700 多種，東亞有紀錄的大約 9 屬。灌木或喬木、羽狀複葉、雌雄異株、花萼 3-5 裂、花瓣 3-5、蒴果或核果。泛熱帶分布，棲地多樣，山區或低地，乾燥及潮濕皆有分布 (Proctor, 2012)。



橄欖科(Burseraceae，橄欖，*Canarium album*，來源:胡哲明)



橄欖科(Burseraceae)分布圖



橄欖科—橄欖屬(*Canarium*):喬木。羽狀複葉。聚繖花序。單性花。花萼3、花瓣3。核果。分布於熱帶非洲與西太平洋(Wild, 1963)。



橄欖屬(*Canarium*，由 Tau'olunga, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2745865>)



橄欖屬(*Canarium*)分布圖:綠色為原生地區，紫色為引入地區。

橄欖科—嘉欖屬(*Garuga*):落葉喬木。羽狀複葉。腋生花序。兩性花、5瓣。核果。分布在亞洲的熱帶、亞熱帶與西南太平洋(Utteridge and Jennings, 2022)。



嘉欖屬(*Garuga*，由 Tau'olunga, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2745925>)



嘉欖屬(*Garuga*)分布圖

## 東亞

**藍果樹科—珙桐屬(*Davidia*):**分布於中國，偏好中海拔常綠闊葉落葉闊葉混交林的陰濕處(胡瓊，2013)，數量稀少，屬於中國國家一級重點保護植物。



珙桐屬(*Davidia* , CC BY-SA 3.0 ,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=261697>)



珙桐屬(*Davidia*)分布圖

## 泛喜馬拉雅

亞麻科—異腺草屬(*Anisadenia*): 分布於喜瑪拉雅地區及雲南，海拔 1600-3200 公尺的山地或高原(Li, 2007)。



異腺草屬(*Anisadenia* , 取自 Bhutan Biodiversity Portal ,

<https://biodiversity.bt/observation/show/50002>)



異腺草屬(*Anisadenia*)分布圖

中南半島及中國南部

亞麻科—青籬柴屬(*Tirpitzia*):分布於中國大陸及越南。



青籬柴屬(*Tirpitzia* , Photographed by Somkuan Suk-eam.)

亞麻科—石海椒屬(*Reinwardtia*):分布於印度、中南半島及中國南部。



石海椒屬(*Reinwardtia* , By JMK - Own work, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=42108991>)



石海椒屬(*Reinwardtia*)分布圖。

綠色為原生地區，紫色為引入地區。

藍果樹科—大果五加屬(*Diplopanax*):分布於中國及越南。



大果五加屬(*Diplopanax* , by Aaron Liston, CC BY 4.0)



大果五加屬(*Diplopanax*)分布圖

## 馬來西亞區

**橄欖科—山地欖屬(*Santiria*):**常綠喬木。羽狀複葉。花序腋生。單性花、雌雄異株、3 瓣。分布於西非、中非、馬來西亞與新幾內亞(Utteridge and Jennings, 2022)。



山地欖屬(*Santiria* , By filibot.web -

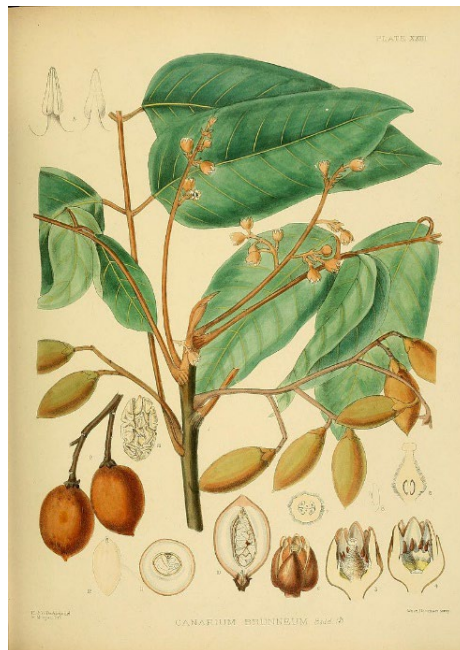
<https://www.flickr.com/photos/filibot/8046079541/>, CC BY-SA 2.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=108687486>)



山地欖屬(*Santiria*)分布圖

橄欖科—*Scutinanthe*: 常綠喬木。羽狀複葉。花序腋生。單性花、雌雄異株、5 瓣。核果。分布在斯里蘭卡到新幾內亞之間(Utteridge and Jennings, 2022)。



*Scutinanthe*(By Alston, A. H. G.; Hooker, Joseph Dalton; Trimen, Henry -

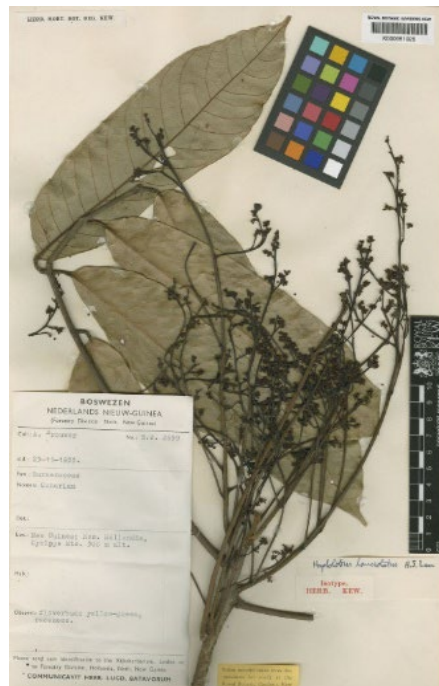
<https://www.flickr.com/photos/biodivlibrary/6430640159>, Public Domain,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=43285667>)



*Scutinanthe* 分布圖

橄欖科—*Haplolobus*: 常綠喬木。羽狀複葉。單性花、3 瓣。分布於婆羅洲、印度尼西亞(Utteridge and Jennings, 2022)。



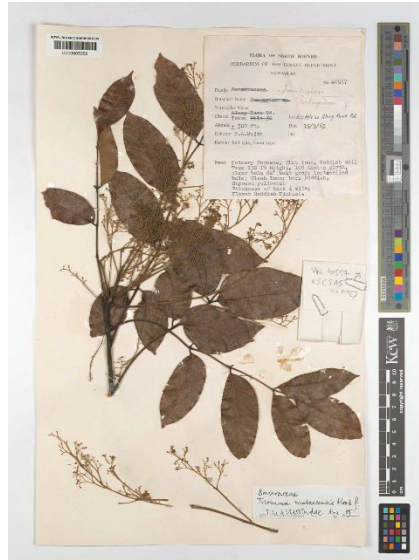
*Haplolobus* (A specimen from Kew's Herbarium - K000651925)



*Haplolobus* 分布圖

巽他亞區

橄欖科—*Triomma*: 分布於馬來西亞。



*Triomma* (A specimen from Kew's Herbarium - K000605358)



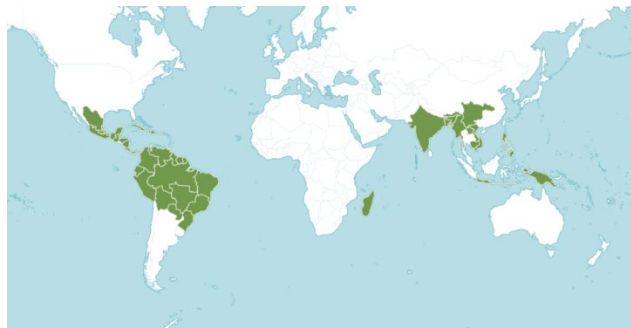
*Triomma* 分布圖

中南半島、爪哇與菲律賓

橄欖科—馬蹄果屬(*Protium*): 常綠喬木。羽狀複葉。5 瓣花。肉質果實。分布於熱帶美洲、墨西哥、西印度洋與東南亞(Utteridge and Jennings, 2022)。



馬蹄果屬(*Protium*，由 João Medeiros - *Protium heptaphyllum*, CC BY 2.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10799540>)



馬蹄果屬(*Protium*)分布圖

## 東南亞

**金殼果科(*Chrysobalanaceae*):**喬木或灌木、總狀花序或聚繖花序、核果或漿果、熱帶廣布(熱帶亞洲-熱帶非洲-熱帶南美)，生長在熱帶的低地、雨林，具有經濟價值(吳征鎰，2006；Proctor, 2012)。起源於古熱帶，並在新熱帶多樣化(Bardon et al., 2016)。



金殼果科(Chrysobalanaceae, *Parinari glaberrima*, 來源:胡哲明)



金殼果科(Chrysobalanaceae)分布圖

橄欖科—非洲梨屬(*Dacryodes*): 喬木。雌雄異株。圓錐花序。單性花。花萼 3、花瓣 3。核果。分布於中南半島與熱帶美洲(Wild, 1963)。



非洲梨屬(*Dacryodes*, (By Own work, Public Domain,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3778465>)



非洲梨屬(*Dacryodes*)分布圖

**龍腦香科(Dipterocarpaceae):**約 17 個屬，約有 680 種，通常是高大的喬木。

單葉、具革質、互生。兩性花、5 瓣。聚繖花序或總狀花序

(Duvigneaud,1961)、熱帶廣布，主要分布在東南亞，木材是重要的經濟資源。



龍腦香科(Dipterocarpaceae, *Shorea*, 來源:胡哲明)



龍腦香科(Dipterocarpaceae)分布圖

買麻藤科(*Gnetaceae*): 藤本、灌木或小喬木，形態在裸子和被子之間。1 屬，約 40 種(应俊生、陈梦玲，2002)。穗狀花序。葉子具有類似被子植物的羽狀網狀脈序。泛熱帶分布，分布於東南亞、中非、南美(Utteridge and Jennings, 2022)。



買麻藤科(*Gnetaceae*，CC BY-SA 3.0，

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=646435>)



買麻藤科(*Gnetaceae*)分布圖

藍果樹科—單室茱萸屬(*Mastixia*): 常綠喬木。單葉，對生。聚繖圓錐花序。核果。分布於東亞、東南亞及南亞。生長在海拔 1000 公尺以下的低地雨林(Utteridge and Jennings, 2022)。



單室茱萸屬(*Mastixia* , By Vinayaraj - Own work, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26636593>)



單室茱萸屬(*Mastixia*)分布圖

**金蓮木科(Ochnaceae):**約 30 個屬，約有 450 多個物種。喬木或灌木。葉互生，具有薄革質到革質。聚繖花序或總狀花序。蒴果或漿果。多顆種子，能夠被風或動物散播。熱帶廣布(熱帶亞洲-熱帶非洲-熱帶南美)(吳征鎰，2006)，通常在雨林或林地(Robson,1963)。



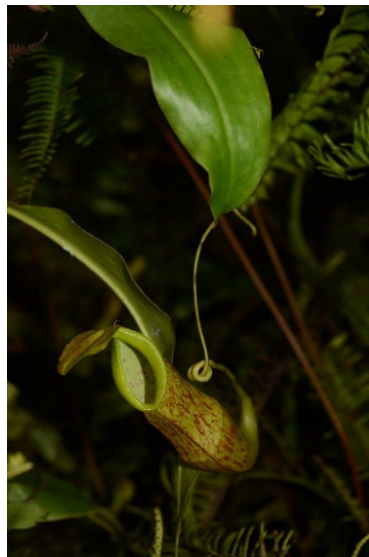
金蓮木科(Ochnaceae，鼠眼木，*Ochna serrulata*，來源:胡哲明)



金蓮木科(Ochnaceae)分布圖

**豬籠草科(Nepenthaceae):**約 1 屬 180 種。多為多年生草本或藤本植物，肉食性，具有特殊的捕蟲器。果實多為蒴果，種子通常很小且輕，能夠被風散播。主要分布在東南亞、印度東北部和澳大利亞的熱帶和亞熱帶地區，主要棲地為熱帶雨林和高山地區。具有園藝價值。獵物捕獲機制受到氣候限制 (Moran et al.,2013)。

演化歷史:從印度次大陸拓殖到馬來半島，並在婆羅洲多樣化(Biswal et al.,2018)。大多為馬來西亞地區特有，生長在養分貧瘠的土壤中。



豬籠草科(Nepenthaceae，奇異豬籠草，*Nepenthes mirabilis*，來源:胡哲明)



猪籠草科(Nepenthaceae)分布圖

**小盤木科(Pandaceae):**小型喬木或灌木。單葉、具有革質、互生、總狀花序。花 5 瓣。核果、蒴果或漿果、能夠被風或動物散播。分布於熱帶亞洲及熱帶非洲，主要分布在沿海地區和島嶼(Utteridge and Jennings, 2022)。



小盤木科(Pandaceae，由 yakovlev.alexey from Moscow, Russia - Microdesmis keayana (Pandaceae), CC BY-SA 2.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=63995156>)



小盤木科(Pandaceae)分布圖

## 附錄二、GBIF 的植物出現紀錄資料



Burseraceae

GBIF.org (11 August 2023) GBIF Occurrence Download

<https://doi.org/10.15468/dl.dgn9kc>

Chrysobalanaceae

GBIF.org (16 August 2023) GBIF Occurrence Download

<https://doi.org/10.15468/dl.3p6hqh>

Connaraceae

GBIF.org (24 June 2024) GBIF Occurrence Download

<https://doi.org/10.15468/dl.4xd8mn>

Dipterocarpaceae

GBIF.org (17 August 2023) GBIF Occurrence Download

<https://doi.org/10.15468/dl.wqq56n>

Gnetaceae

GBIF.org (09 June 2024) GBIF Occurrence Download

<https://doi.org/10.15468/dl.gymhgz>

Linaceae

GBIF.org (17 August 2023) GBIF Occurrence Download

<https://doi.org/10.15468/dl.vbs2h8>



## Nepenthaceae

GBIF.org (16 August 2023) GBIF Occurrence Download

<https://doi.org/10.15468/dl.s2hqdm>

## Nyssaceae

GBIF.org (11 August 2023) GBIF Occurrence Download

<https://doi.org/10.15468/dl.2j8ptx>

## Ochnaceae

GBIF.org (13 August 2023) GBIF Occurrence Download

<https://doi.org/10.15468/dl.4knz8c>

## Pandaceae

GBIF.org (13 August 2023) GBIF Occurrence Download

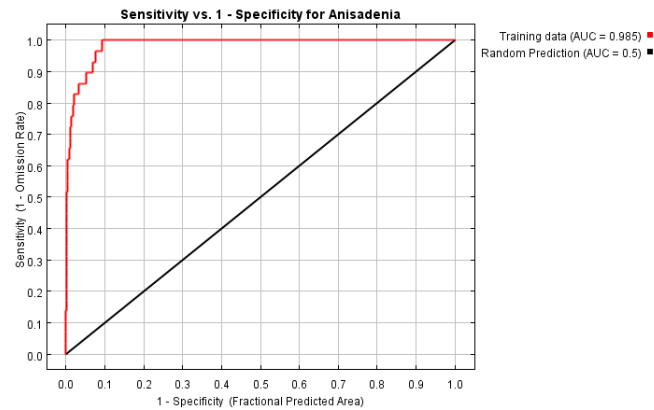
<https://doi.org/10.15468/dl.2j6k37>

## Urticaceae

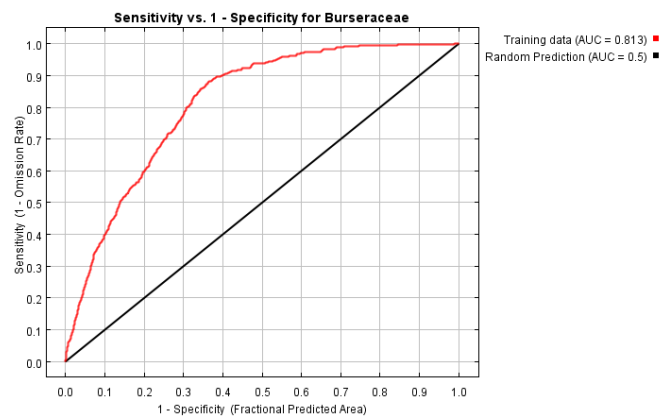
GBIF.org (11 June 2024) GBIF Occurrence Download

<https://doi.org/10.15468/dl.wfxdmm>

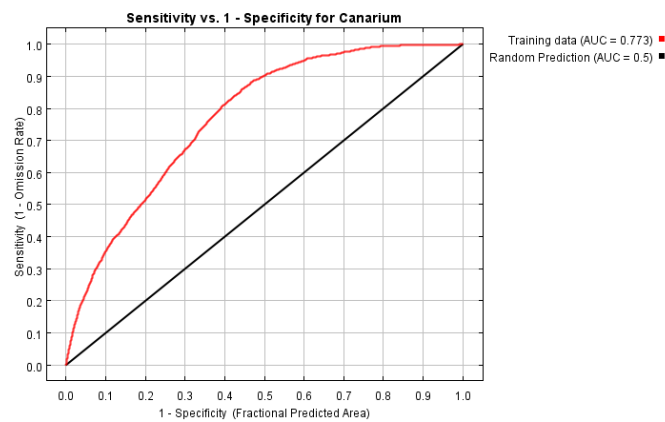
### 附錄三 Maxent 的 ROC 與 AUC



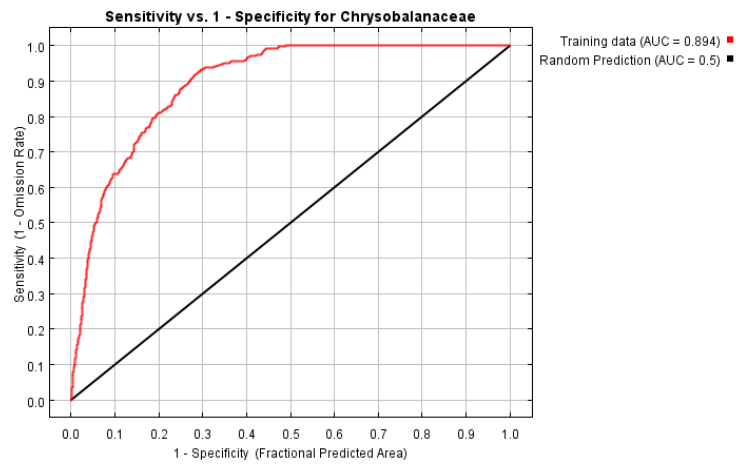
異腺草屬(*Anisadenia*)



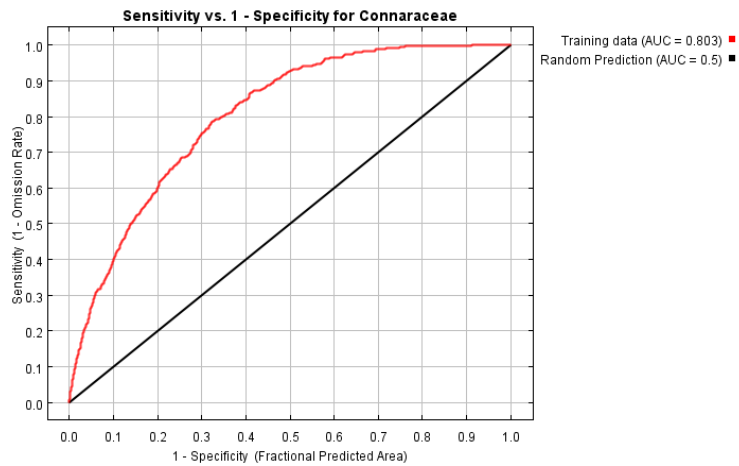
橄欖科(*Burseraceae*)



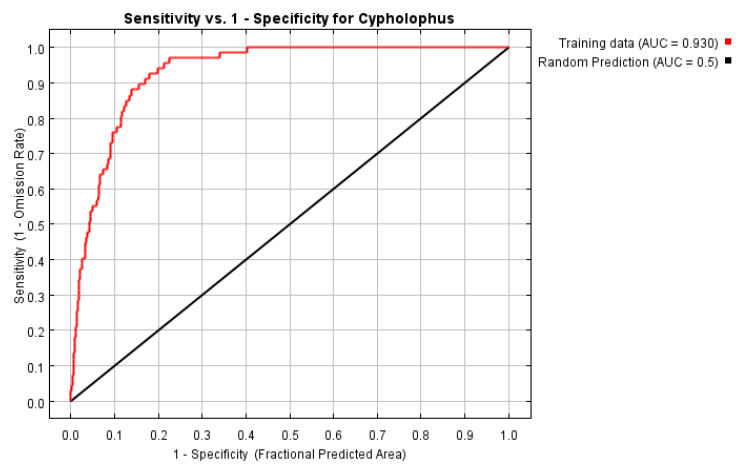
橄欖屬(*Canarium*)



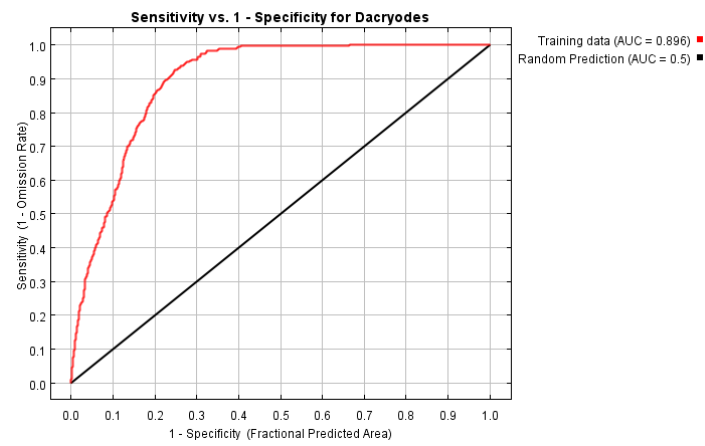
金殼果科(Chrysobalanaceae)



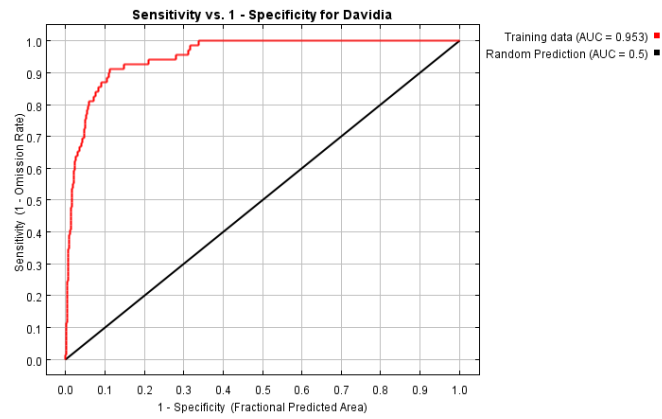
牛栓藤科(Connaraceae)



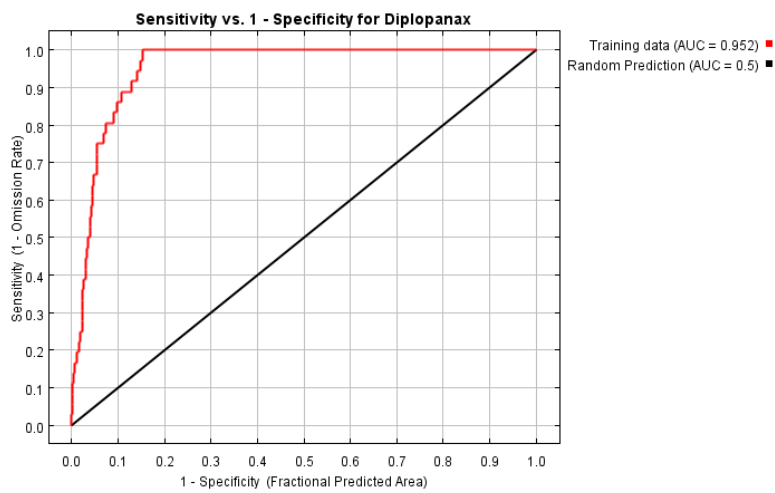
瘤冠麻屬(*Cypholophus*)



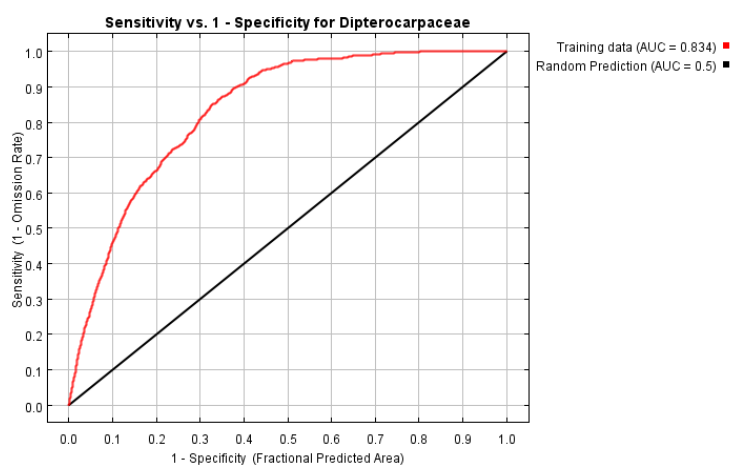
非洲梨屬(*Dacryodes*)



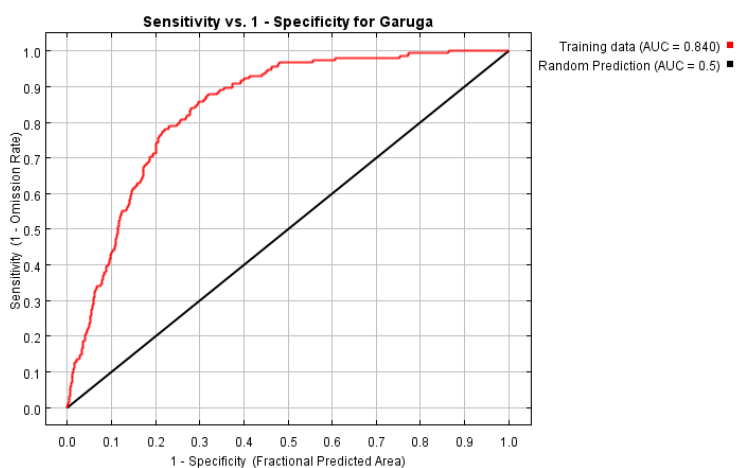
珙桐屬(*Davidia*)



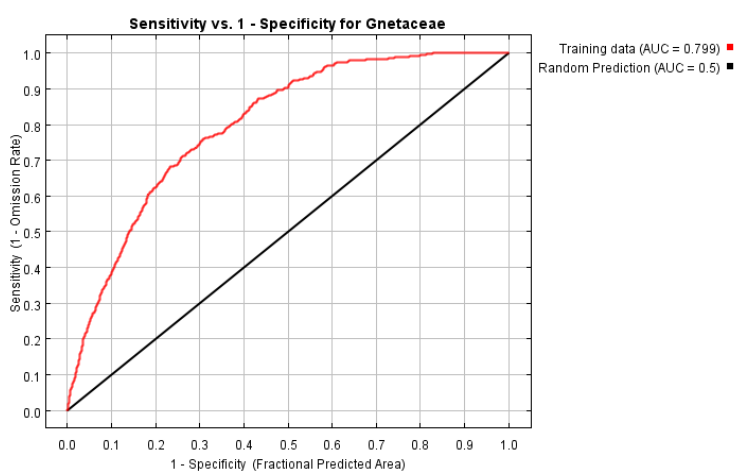
大果五加屬(*Diplopanax*)



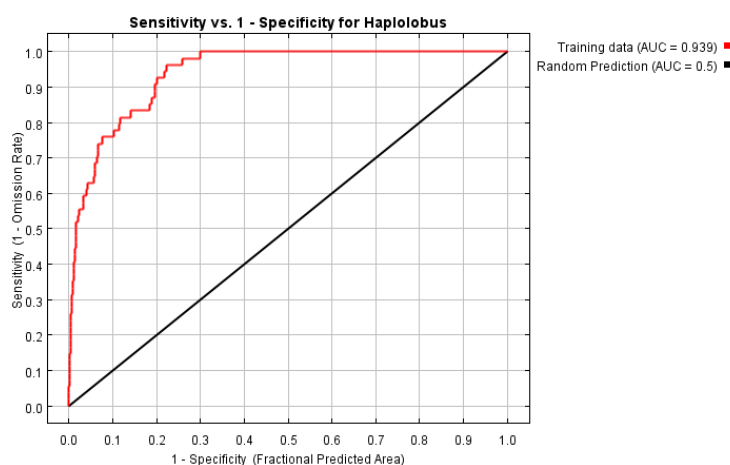
龍腦香科(Dipterocarpaceae)



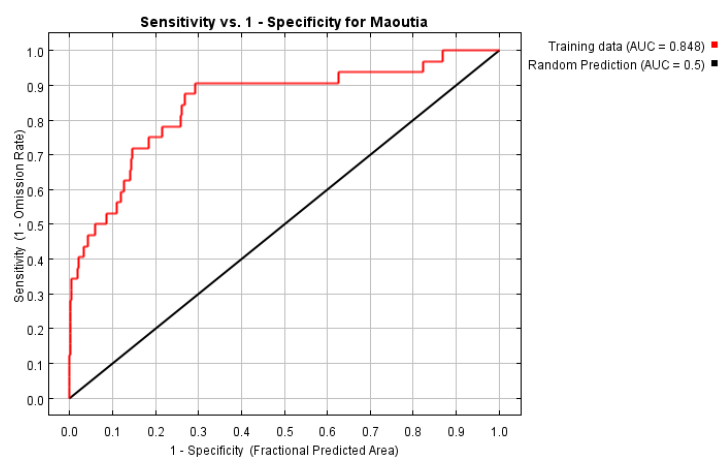
嘉欖屬(*Garuga*)



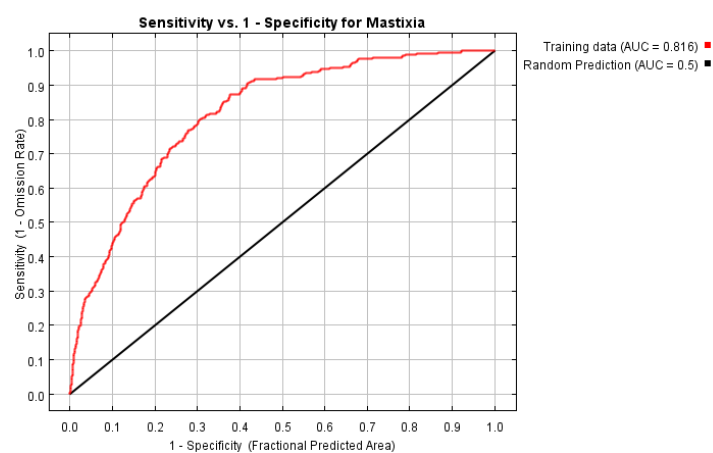
買麻藤科(Gnetaceae)



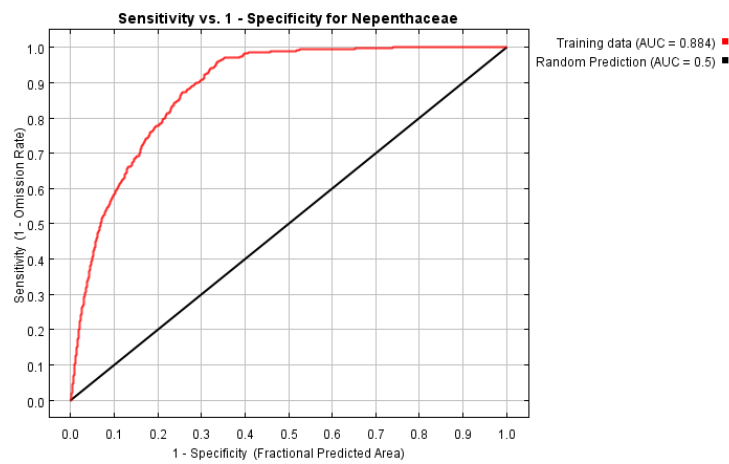
*Haplolobus*



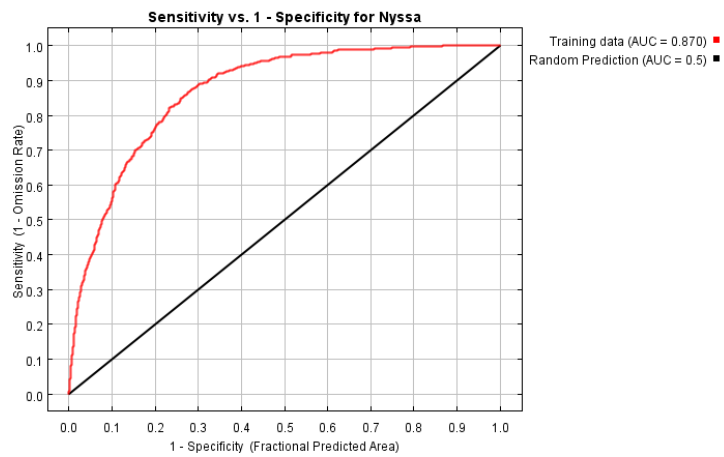
水絲麻屬(*Maoutia*)



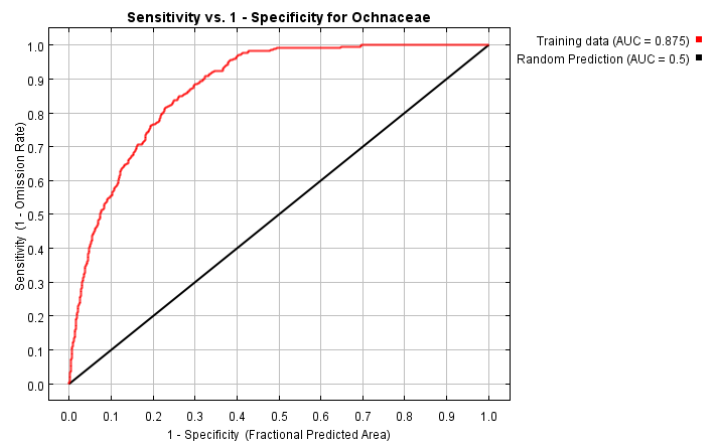
單室茛萸屬(*Mastixia*)



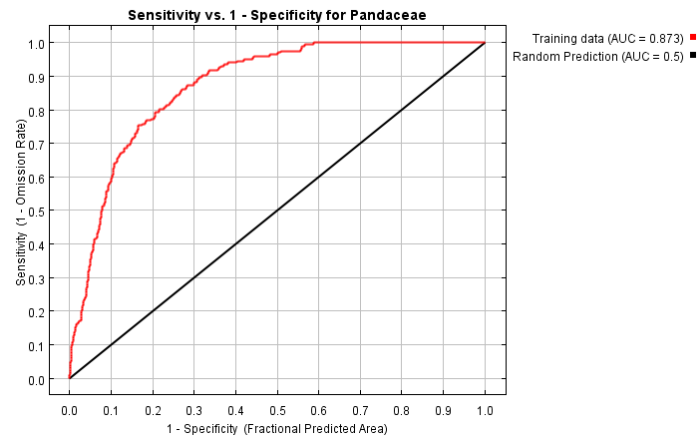
豬籠草科(Nepenthaceae)



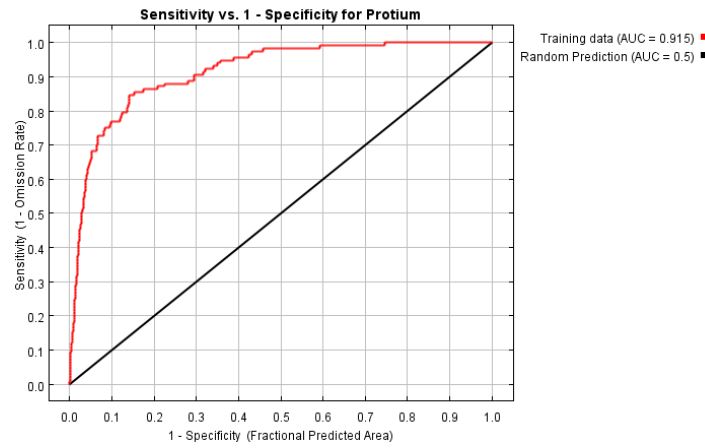
藍果樹屬(*Nyssa*)



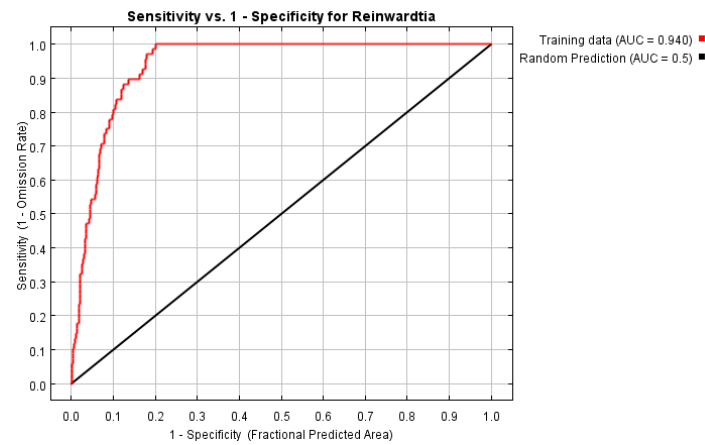
金蓮木科(Ochnaceae)



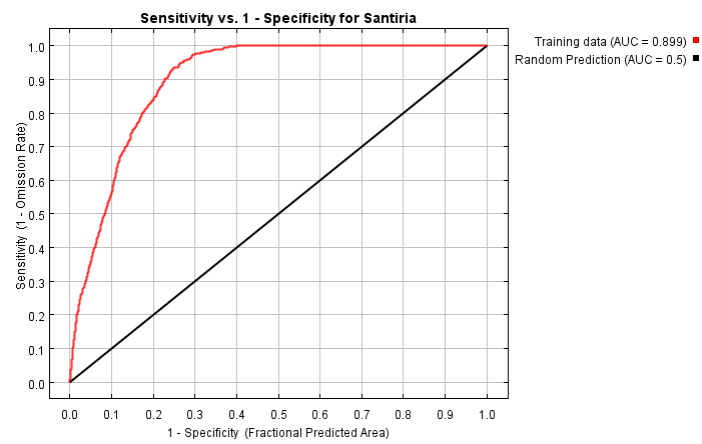
小盤木科(Pandaceae)



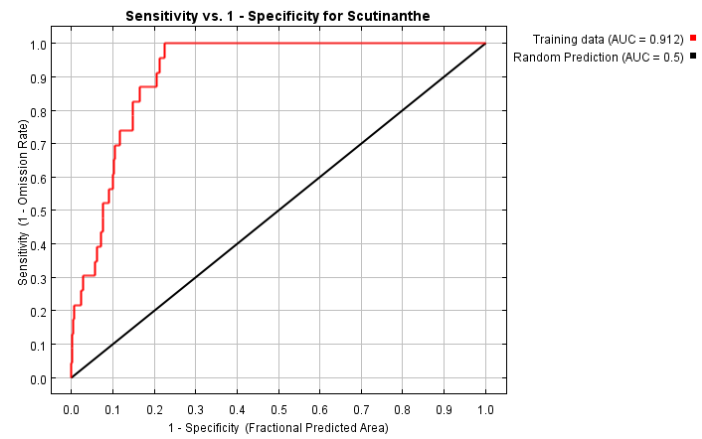
馬蹄果屬(*Protium*)



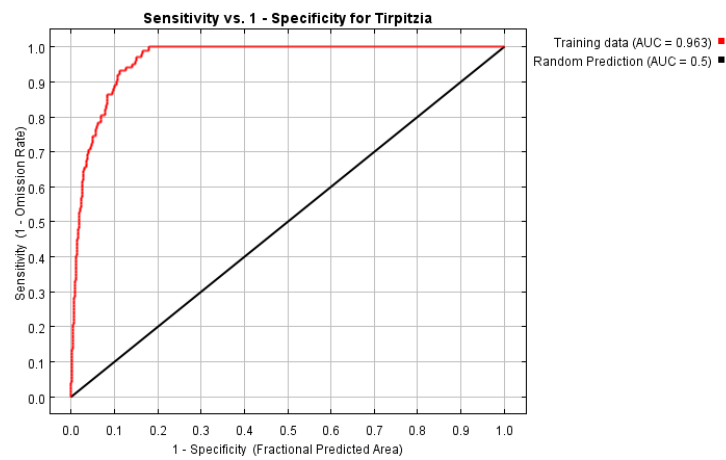
石海椒屬(*Reinwardtia*)



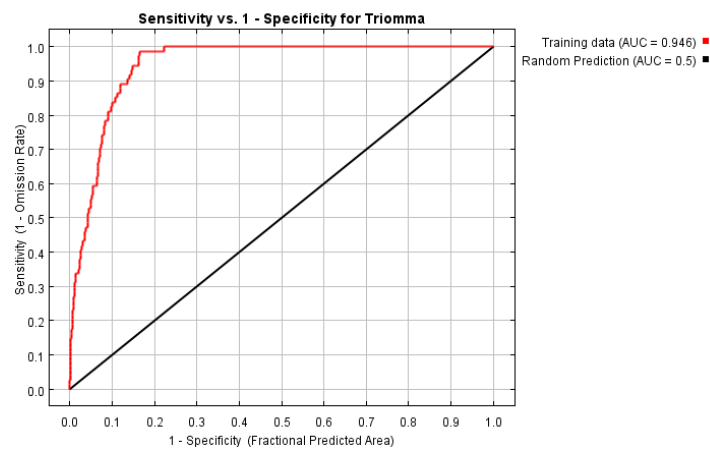
山地欖屬(*Santiria*)



*Scutinanthe*



*Tirpitzia*



*Triomma*