

# 歸化植物擴散之分布模式建立與預測

林朝欽<sup>1,4</sup>，周富三<sup>2</sup>，蕭其文<sup>3</sup>，王豫煌<sup>1</sup>

<sup>1</sup>林業試驗所森林保護組；<sup>2</sup>林業試驗所六龜研究中心；<sup>3</sup>林業試驗所技術服務組；<sup>4</sup>通訊作者

E-mail: chin@tfri.gov.tw

**[摘要]** 外來植物如能克服環境上的障礙，並適應當地的氣候，且能在野外自行繁殖更新，而成為歸化植物，則具擴散到自然或半自然的環境中的潛力，與原生種競爭而成為造成原生種減少或消失的入侵植物。因此歸化植物為潛在的入侵植物來源，歸化植物是否具有擴散能力？可透過生態棲位理論以數學模式加以推導預測。本研究的主要目的為建立一個具有計算能力的科學工作流程，並利用此工具探討歸化植物可能之擴散模式及預測其擴散範圍。本研究利用在臺灣東部及南部所調查到的 327 種歸化植物中，出現頻率最高的前 10 種為案例，進行 2020 年及 2050 年可能之擴散預測。結果顯示利用一套具有科學計算能力的工作流程系統，可以建立自動化的資料處理服務及管理，解決數據計算繁瑣程序，降低資料分享的障礙。此工作流程除提供研究人員統一而且便捷使用外，更提供能進行整合分享的計算功能，是未來歸化植物擴散預測研究有利的工具。

**關鍵字：**外來植物、生態棲位、物種分布、科學工作流程

## Modeling and Predicting Distribution of Naturalized Plants of Taiwan

Chau-Chin Lin<sup>1,4</sup>, Fu-Shan Chou<sup>2</sup>, Chi-Wen Hsiao<sup>3</sup> and Yu-Huang Wang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Division of Forest Protection, Taiwan Forestry Research Institute; <sup>2</sup>Liouguei Research Center, Taiwan Forestry Research Institute; <sup>3</sup>Division of Technological Service, Taiwan Forestry Research Institute;

<sup>4</sup>Corresponding author E-mail: chin@tfri.gov.tw

**ABSTRACT** An alien plant that can overcome environmental obstacles, adapt to the local climate, and reproduce and thrive can become a naturalized plant in the new habitat. However, with this ability to expand in natural or semi-natural environment the plant may cause the decline or disappearance of native plants and become an invasive species. As such, any naturalized plant could potentially be an invasive species. Through niche modeling, we can predict whether a naturalized plant have the capability to expand in new habitats. The main purpose of this paper was to establish a scientific workflow that provides computational functions for niche modeling and predicts potential distributions of naturalized plants. We conducted field surveys of naturalized plants in eastern and southern Taiwan during 2009-2011. In total 327 species were inventoried. Using this data, we predicted species distribution in 2020 and 2050 for ten species with the highest presence through a scientific workflow. The results show that scientific workflow is a useful tool for automating data management and analysis, which solves the difficulty of modeling and analyzing species distribution data.

**Keywords:** alien plant, niche, species distribution, scientific workflow

## 前言

人類為了農業、林業、園藝、藥材等目的，會蓄意或在意外的情況下將植物帶離它們的原生地，使得它們可以超越地理障礙而脫離它們演化的起始地區。但離開原生地的植物要能成功的在一個新的生育地存在，必需經歷一系列的關卡考驗：一、歷史因素：物種是否有到達新生育地的能力。二、生理因素：物種是否能在新的生育地萌發、生長、存活及繁殖。三、生物因素：物種是否具備競爭能力 (Richardson *et al.* 2000)。外來植物如能克服上述的障礙並適應當地的氣候，且能在野外自行繁殖、更新者稱為歸化植物(naturalized plant) (Pysek *et al.* 2004)。外來植物經過歸化過程後，因為已具產生後代能力，則具有擴散到自然或半自然的環境中與原生種競爭的潛力，甚至在新生地取代原生種，而成為造成原生種減少或消失的入侵植物 (invasive species) (Richardson *et al.* 2000)。但並非所有的外來植物都會變成入侵植物，它必須先成為歸化植物，才可能成為入侵植物。因此歸化植物為潛在的入侵植物來源，歸化植物是否具有擴散能力？許多假說及研究探討此議題 (楊宜津 2007, 張芷葵等 2008, Daneshgar and Jose 2009)。其中以空缺生態棲位假說(empty niche hypothesis)是被引用於實際研究較多的假說 (Daneshgar and Jose 2009)，此假說認為生態棲位可以解釋植物擴散的機制，因為環境不斷地有干擾出現，一旦干擾發生並出現淨空的棲位，適合此棲位的物種就有可能佔有該棲位並成為適存者。生態棲位可透過數學模式推導而加以預測，其流程為將物種出現記錄與環境因子結合，找出生態棲位空間(niche space)，再依此生態棲位空間所在向度投影至空間位置，亦即一般所謂的物種分布預測(Peterson and Vieglais 2001, Romanuk *et al.* 2009)，目前此種預測除缺乏公開分享的物種出現記錄外，操作分布預測之流程繁複，雖物種分布預測確為有用的一種量化方法，但仍不易有統一

的工作流程與資料管理與分享機制。例如臺灣地區有不少歸化植物調查，並出版調查名錄 (Wu *et al.* 2004, 2010, Chen 2008, 劉彥彬、郭耀綸 2011)，但都缺少出現記錄的實際座標，難以進行分布建模與預測；另外亦有物種分布預測工具之提供，如林務局之物種潛在分布預測模組 ([http://ngismap.forest.gov.tw/plant\\_predict\\_model/](http://ngismap.forest.gov.tw/plant_predict_model/))，但缺乏資料管理與分享的標準與操作的統一流程。

近年來生態資訊學所發展的一種技術稱為科學工作流程(scientific workflow)，是應用在物種分布預測的最佳工具。工作流程(workflow)一詞傳統上指商業的文書工作或工廠的產品製造步驟。依工作流程管理聯盟之定義：所謂工作流程乃商業過程中自動化或電腦化加速完成的整個或部份程序(Taylor *et al.* 2007)。因此，科學工作流程可以定義為：電腦化加速或自動完成科學計算流程的全部或部份過程，例如執行某一項實驗後，接著將甫蒐集到的原始數據分析並產生最後的統計值後，進行最後結果的解釋，這些過程步驟即稱為科學工作流程。所以科學工作流程可以看作是科學家為產出科學產品，例如圖、表、研究報告等，必須執行的一系列步驟的描述。科學工作流程可視之為由許多獨立工作成份串連成一個沒有間斷的流程，每個獨立的工作成份稱之為工作單元，藉由工作流程的指揮單元來安排完成各個工作單元。科學工作流程原是依資訊學技術所建構並運用在工程設計上，例如美國加州柏克萊大學所發展的 Ptolemy 系統。近年來生態資訊學將之引用於生態研究上，除沿用了工程界已有的技術外，亦依生態研究的需要修改軟體並命名為 Kepler 系統(Pennington and Michener 2005)。此系統不但適合生態資料的特性且提供運算功能，例如生態上進行物種分布預測建模研究 (Pennington *et al.* 2007)，Kepler 系統應用於物種分布預測之運作，除需物種出現的數據如標本或資源調查外，尚須環境因子等地理資訊之圖層，再依數學模式進行生態棲位模式建構及預測物種的實際分布，而

Kepler 系統在研究上提供了相當有用且便利的建模功能與界面。

本研究的主要目的為建立一個具有計算能力的科學工作流程，並利用此工具探討歸化植物可能之擴散模式及預測其擴散範圍。首先依據全球入侵物種資訊網(The Global Invasive Species Information Network, GISIN)對外來物種到造成入侵的定義與解釋訂定研究的方法，並進行文獻的蒐集，作為擴散模式尋找的參考(林朝欽 2006)。其次進行系統性與固定方法的實際調查，建立可作為模式推導的歸化植物資料庫。另外在評估外來歸化植物可能擴散範圍之預測，除利用棲位建模技術外，並包括全球氣候變遷之未來氣候情境預測 2020 年及 2050 年歸化植物可能之擴散範圍。

## 材料與方法

### 一、文獻蒐集與野外調查

外來入侵植物為非臺灣之物種，除一般入侵物種之理論與研究外，許多具入侵性植物之生物學文獻對本研究有極大之助益，因此就國內外的生態研究期刊，尤其國際上有名的 *Biological Invasion*，進行全面地植物入侵種之文獻蒐集，以作為文獻回顧與未來入侵模式尋找的參考。臺灣有關歸化植物相關名錄蒐集比對，作為野外調查之參考。野外調查及資料之整理：本研究調查恆春半島、臺灣東部(花蓮縣、臺東縣)、臺灣南部(高雄市、除恆春半島之屏東縣)的歸化植物(圖 1)。考量研究目標與人力、時間等限制，本研究採網格系統為基礎之逢機樣點取樣，利用 1/50,000 比例尺地圖每 1 平方公里網格為基本調查單位，每一網格內至少調查一樣點代表該網格之外來歸化種資訊。為求快速取得物種分布資訊，本計畫採用樣點之無邊取樣，記錄樣點半徑 20 公尺內之所有外來歸化植物。再以座標取得地理環境資訊，提供未來進一步研究與監測之用。調查項目依國際入侵種資料標準(GISIN)及標本記錄標準(Darwin core)建立資料庫(林朝欽

2006)，描述調查資料之元數據則依生態資訊標準(EML)建立(林朝欽等 2008)。



圖 1. 本研究所進行的野外調查範圍(灰色區域)

### 二、環境圖層蒐集與建立

環境因子圖層包括氣候、地理圖層，棲位建模理論預測未分布並需考慮氣候變遷之未來情境，此未來情境圖層已由 IPCC (<http://www.ipcc.ch>) 公開共享。本計畫以一公里解析度為標準，分別就 USGS 之 HDRO 1 K ([http://eros.usgs.gov/#/Find\\_Data/Products\\_and\\_Data\\_Available/HYDRO1K](http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/HYDRO1K))、Worldclim (<http://www.worldclim.org>) 之世界氣候及 IPCC 之 2020 年及 2050 年之情境圖層進行蒐集與解析度轉化，並切出臺灣為範圍之地理資訊圖層。使用之圖層包括(解析度 1 平方公里)：1. 海拔高、2. 坡度、3. 坡向、4. 1961-1990、2020、2050 年累積雨量、5. 1961-1990、2020、2050 年均溫、6. 1961-1990、2020、2050 年最高溫、7. 1961-1990、2020、2050 年最低溫、8. 1961-1990、2020、2050 年溫差。

### 三、歸化植物可能之擴散模式建模與實例預測

本研究運用生態資訊學技術中之科學工作流程，依棲位建模理論所論述的物種分布預

測流程建立觀念模型後，選取科學工作流程建立之軟體 Kepler v1.0 及 GARP (Genetic Algorithm for Rule Set Production)作為科學工作流程的建立(Stockwell and Peters 1999)。Kepler 系統為美國國家科學基金會所補助的 SEEK (Science Environment for Ecological Knowledge) 計畫項下所開發的軟體。Kepler 是一套科學數據分析與模式化的軟體，它以圖形化建構模式並展示出模式中各因子相關連結與資料流的過程。Kepler 以邏輯關係(logic relation)連結各演員(actor，喻意為各工作單元)，最後以導演(director，喻意為指揮單元)負責控制模式的流程並完成運算。Kepler 執行計算所需的數據是透過 EML 文件所描述的資料內容及倉儲位置，利用網路服務(web service)向資料格網取得。因此只要透過網際網路即可執行分散不同地點的資料計算。科學家可以在系統所建立的 4 個指揮單元中選擇流程控制方法，在 300 餘個工作單元中選擇適用者，並依觀念模型建構邏輯關係。因此在使用 Kepler 建構圖形化流程前，科學家需先建立觀念性模型，再依觀念性模型進行 Kepler 流程建立。Kepler 並已將 R-project 包裝為其內部計算用工具，R-project 為命令式之科學統計及繪圖軟體，屬共享軟體，可由網際網路下載使用。在 Kepler 環境中執行各項運算指令除 R-project 外，使用者尚可指定其他計算工具如 SAS 或 Matlab 等作為統計及繪圖的工具。GARP 為依據基因組合的演算法所發展的電腦軟體，可結合於科學工作流程中，本研究使用 GARP 的準則為：1. 每一物種訓練樣點及檢核樣點隨機選取各 50%，2. 以 GARP 運算建立 800 個模式，3. 從全部模式中挑選漏判誤差(omission error)最低的 40 個模式，再這 40 個模式中先以誤判誤差(commission error)排序，從中選取中間的 20 個模式(25% ~ 75%)，4. 將這 20 個模式產生的預測圖堆疊成一個複合預測圖，5. 依此模式分別推算 2020、2050 年之物種分布預測。本研究除使用 Kepler 與 GARP 建立歸化植物擴散模式之科學工作流程外，並利用已

完成的歸化植物資料庫抽取其中出現頻率最高的 10 種植物進行 2020 年、2050 年可能擴散之預測圖作為案例。

## 結果

### 一、歸化植物種類與其生育地

本研究共調查 2,152 個樣點，記錄 327 種外來歸化的維管束植物，分別屬於 68 科 224 屬，其中並無裸子植物，雙子葉植物有 60 科 191 屬 276 種，單子葉植物有 8 科 33 屬 51 種，圖 2 為所有調查記錄的歸化植物出現地點位置圖。前 10 個科的種數共達 211 種，占所有調查種數的 64.53% (211/327)。所調查到的歸化植物出現道路兩側最多，前 5 個主要的生育類別是道路兩旁、荒廢地、林道兩旁、廢耕地、河床。圖 3 為主要出現的生育地及頻度。恆春半島、臺灣東部及南部外來歸化的維管束植物，分別敘述如下：

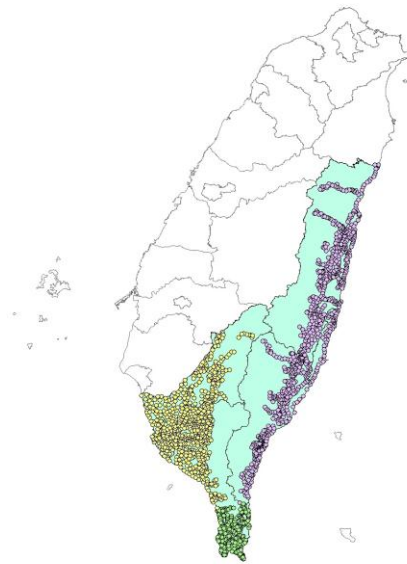


圖 2. 本研究所調查之歸化植物出現地點

調查範圍中恆春半島共 458 個樣點，記錄 174 種外來歸化的維管束植物，分別屬於 46 科 129 屬，其中並無裸子植物，雙子葉植物有 38 科 111 屬 151 種，單子葉植物有 8 科 18 屬 23 種。這 174 種歸化的維管束植物大部分都

屬於陽性的草本植物，以豆科、菊科、禾本科、旋花科、大戟科的植物為主，前 10 個科的種數高達 120 種，占有調查種數的 68.6% (120/174)。廣泛分布於恆春半島的歸化維管束植物有維管束植物有大花咸豐草 (*Bidens pilosa*)、銀合歡 (*Leucaena leucocephala*)、長穗木 (*Stachytarpheta urticifolia*)、馬纓丹 (*Lantana camara*)、含羞草 (*Mimosa pudica*)、野牽牛 (*Ipomoea obscura*)、賽葵 (*Malvastrum coromandelianum*)、孟仁草 (*Chloris barbata*)、紅花野牽牛 (*Ipomoea triloba*)、毛西番蓮 (*Passiflora foetida*) 等。所調查到的歸化植物出現道路兩側最多，前 5 個主要的生育類別是道路兩旁 (31.7%)、荒廢地 (15.7%)、林道兩旁 (14.8%)、廢耕地 (12.7%)、次生林 (5.1%)。

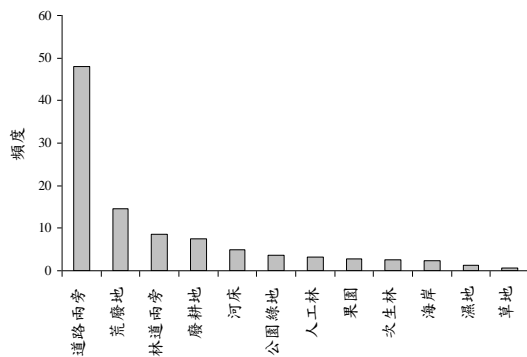


圖 3. 歸化植物主要出現的生育地及頻度

調查範圍中臺灣東部共 972 個樣點，記錄 244 種歸化的維管束植物，分別屬於 55 科 169 屬，其中並無裸子植物，雙子葉植物有 47 科 140 屬 203 種，單子葉植物有 8 科 29 屬 41 種。這 244 種歸化的維管束植物大部分都屬於陽性的草本植物，以禾本科、豆科、菊科、茄科、大戟科的植物為主，前 10 個科的種數高達 160 種，占有調查種數的 65.6% (160/244)。廣泛分布於花蓮縣及臺東縣的歸化維管束植物有大花咸豐草、紫花藿香薊 (*Ageratum houstonianum*)、銀合歡、小花蔓澤蘭 (*Mikania micrantha*)、兩耳草 (*Paspalum conjugatum*)、野茼蒿 (*Conyza sumatrensis*)、飛揚草 (*Euphorbia hirta*)、光果龍葵 (*Solanum americanum*)、大黍

(*Panicum maximum*)、昭和草 (*Crassocephalum crepidioides*) 等。這些外來歸化植物主要分布於道路兩旁的生育地，前 5 個主要的生育類別是道路兩旁 (48.7%)、林道兩旁 (11%)、荒廢地 (8.1%)、廢耕地 (8%)、河床 (6.4%)。

調查範圍中臺灣南部共 722 個樣點，記錄 263 種歸化的維管束植物，分別屬於 58 科 175 屬，其中並無裸子植物，雙子葉植物有 51 科 150 屬 226 種，單子葉植物有 7 科 25 屬 37 種。這 263 種歸化的維管束植物大部分都屬於陽性的草本植物，以菊科、豆科、禾本科、旋花科、大戟科的植物為主，前 10 個科的種數高達 181 種，占有調查種數的 68.8% (181/263)。廣泛分布於高雄市和屏東縣的歸化維管束植物有大花咸豐草、孟仁草、飛揚草、大黍、野牽牛、小花蔓澤蘭、倒地鈴 (*Cardiospermum halicacabum*)、平伏莖白花菜 (*Cleome rutidosperma*)、馬唐 (*Digitaria sanguinalis*)、紅毛草等，其中大花咸豐草的分布頻度高達 87.95%，這些外來歸化植物主要分布於道路兩旁的生育地。

## 二、資料庫建置與分享

上述調查的資料分別已建立資料庫，並為方便及提供政府機關使用，本研究建立了查詢網站 (<http://ecoinformatics.tfri.gov.tw/invasion>) (圖 4)，此網站提供使用者查詢本計畫所調查到的所有記錄，分物種名錄、物種型態、物種棲地、及物種分布等項，例如圖 5 所示為查詢屏東縣道路兩旁所調查到的歸化植物位置。

## 三、歸化植物可能之擴散模式建模與實例預測

本研究依據棲位預測模式，在 Kepler 系統中所建構的工作流程如圖 6 所示。

這個工作流程使用同步資料流控制單元 (SDF) 指揮控制整個計算流程中的資料輸入與輸出，另外使用到 19 個工作單元及 15 個參數單元，9 個工作單元可以分為資料的輸入單元，此部份包括使用者可以輸入的參數、遠端資料輸入；其次是計算單元，主要是由 R 統計



圖 4. 本研究建立之歸化植物查詢網站

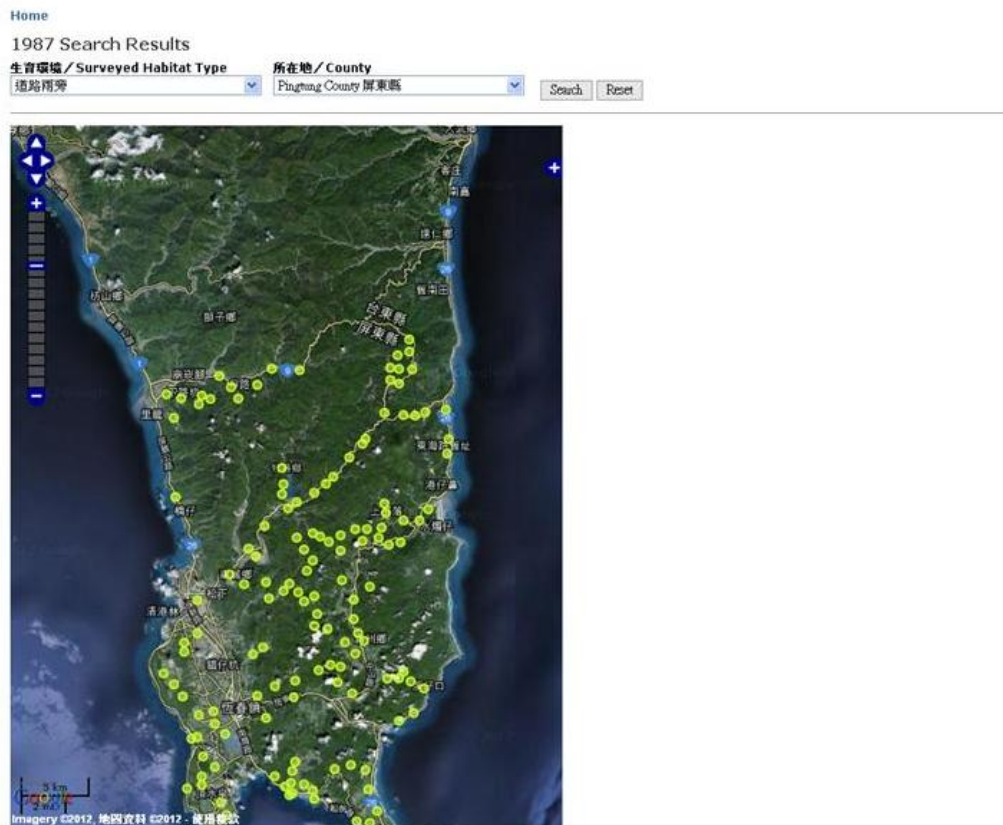


圖 5. 查詢屏東縣道路兩旁所調查到的歸化植物位置

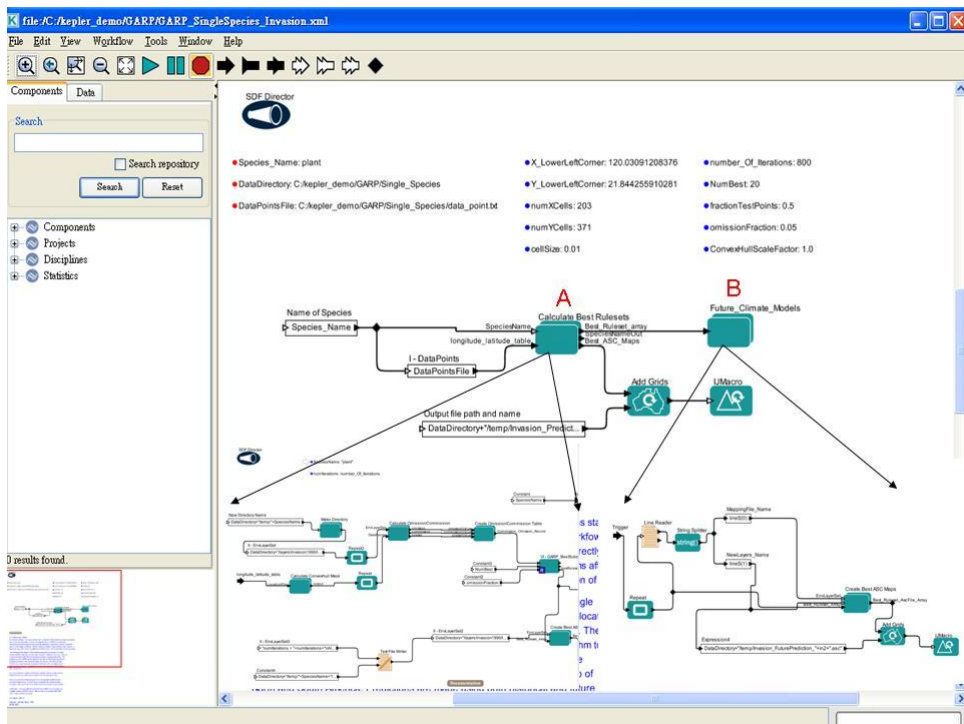


圖 6. 歸化植物擴散分布之科學工作流程，其中 A 與 B 為複合單位，展開後如圖下方細部內容。

軟體為背景工具及 GARP 的數學式，並提供使用者建置所需的運算指令；最後是資料的輸出單元，此部份包括輸出一般試算系統可以讀取的文字檔案，以及地理資訊系統軟體可以讀取的分布圖。工作流程執行時可同時接收來自本機端及在資料格網上的遠端資料輸入，本機端的輸入包括：使用者輸入異常值限制參數、欲計算資料產生的參數、計算過程中的常數值等項，遠端輸入則包括：後設資料目錄(Metacat)上的 EML 文件、倉儲伺服器(SRB)上的原始數據。遠端輸入的 EML 文件由 EML 工作單元自動解析原始數據內容、型態如已調查之物種位置等，完成資料輸入步驟後資料流進入 GARP 工作單元的計算，及 R 本身所內建的函式撰寫指令集，並將指令集置入 R 工作單元。完成計算工作後再利用檔案寫入及繪圖兩個資料輸出工作單元展示結果，此兩個工作單元並可指定將結果寫入之近端或遠端的儲存位置。整個圖形化的工作流程事實上為文字檔案儲存為 XML 格式(圖 7)，可以進行交換分享或未來再使用。

依此工作流程，本計畫將所調查到的歸化植物中出現頻率最高的前 10 種歸化植物：大花咸豐草、銀合歡、飛揚草、兩耳草、孟仁草、光果龍葵、野牽牛、三角西番蓮、大黍、馬纓丹進行分布預測，分別以 2020 年及 2050 年可能擴散的分布加以預測(圖 8)。

圖 8 所示在 2020 年的擴散驅勢以大花咸豐草、馬纓丹、光果龍葵與兩耳草向山地擴散的範圍較為明顯，此擴散趨勢與 2050 年時比較，大花咸豐草與馬纓丹之擴散範圍加大，光果龍葵與兩耳草則在東部與南部有減少的趨勢，但在 2050 年時大黍、野牽牛與三角西番蓮則比 2020 年的擴散範圍增大，其他種類銀合歡、飛揚草、孟仁草則未有更擴散的趨勢。除此 10 種外其他種亦可利用本研究所建立的工作流程一一加以預測，提供作為進一步評估與資源管理的參考。

## 討論

依據 Wu 等 2004 年之臺灣地區的外來歸

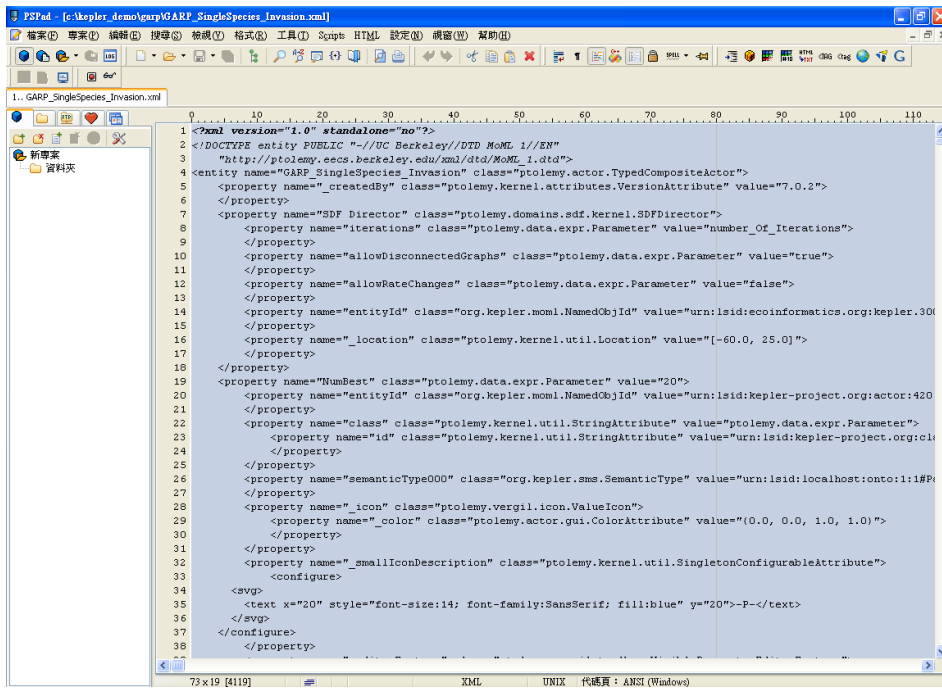


圖 7. Kepler 工作流程為文字檔的 xml 格式



圖 8. 本研究調查之資料中 10 種歸化植物之可能擴散分布



化植物達 60 科 222 屬 341 種之多，其中 273 種是雙子葉植物，67 種是單子葉植物，蕨類有 1 種。歸化植物種類較多的前 5 科分別為豆科(55 種)、菊科(52 種)、禾本科(46 種)、茄科(20 種)、旋花科(15 種)，合計共 188 種，占歸化植物的 55.1% (Wu *et al.* 2004)。該報告發表後，臺灣地區又不斷有新歸化種被發現(Wu *et al.* 2010)。由更新的名錄顯示 2002 年到 2008 年間增加了 77 種歸化植物，更新的資料來自這期間的出版，此結果不論是調查方法所致，或確有不斷增加的外來植物，值得加以探討。本研究在恆春半島所調查到的歸化維管束植物中確實也有類似情形，例如四葉蘿芙木 (*Rauvolfia teraphylla* L.) 是未曾被記錄發表過的歸化種類，因此統一標準化的調查方法有待進一步建立，以作為確立歸化植物名錄的依據。

本研究以生態資訊學所發展的技术，利用一套具有科學計算能力的工作流程系統—Kepler 系統，建立自動化的資料處理服務及資料管理平台，解決數據計算繁瑣程序與軟體常涉及版權或使用限制，降低資料分享的障礙。除研究人員統一而且便捷使用的工具外，更提供能進行整合分享的平台，是未來物種分布預測研究有利的工具。

本研究除利用科學工作流程技術建立歸化植物之擴散預測外，並將已調查之資料建立網站公開分享，相信可以提高使用層面。過去生態學家囿於傳統觀念，視原始數據之釋出與分享為畏途，加上生態學家多半有升等與發表研究報告之壓力，對複雜且大尺度研究問題的興趣不高，使得生物多樣性與長期生態領域之原始數據難以長期保存與分享，本研究已驗證有前瞻性系統與工具的發展，都是未來邁向研究資料完善管理的有力保障。未來網際網路將納入知識內容亦已為趨勢，電腦不但是人類交換文件的媒體，而且將成為傳播知識本體的主要基底。目前生態資訊管理系統，已證明具備此兩重點之此初步規模，下一步為結合更多領域，讓生態學研究的知識更能應用於政策研擬

上。

本研究雖受限於研究時間與經費，無法全面調查，但依目前已完成的數據已可進行預測，未來可依預測之結果檢定未調查區域中其他研究的記錄，以作為預測模式中參數的參考。

## 引用文獻

- 林朝欽。2006。全球入侵物種資料庫的現況與使用。林業研究專訊 13(3):22-24。
- 林朝欽、鄭美如、陸聲山。2008。生態資訊學之發展與應用回顧。台灣林業科學 23(Supplement):S1-10。
- 張芷熒、曾喜育、呂金誠、曾彥學。2008。臺灣地區歸化植物之侵略性評估系統建立。林業研究季刊 30:29-40。
- 楊宜津。2007。臺灣主要歸化植物之風險評估。慈濟大學生命科學研究所碩士論文，93 頁。
- 劉彥彬、郭耀綸 2011。墾丁國家公園歸化植物種類及分布。國家公園學報 21(1): 75-87。
- Chen SH. 2008. Naturalized plants of Eastern Taiwan. National Hualien University.
- Daneshgar P and S Jose. 2009. Mechanisms of plant invasion: a review. In Kohli RK, S Jose, HP Singh and DR Batish (eds.) 2009. Invasive Plants and Forest Ecosystems, 11-28. CRC Press.
- Pennington DD and WK Michener. 2005. The EcoGrid and the Kepler workflow system: a new platform for conducting ecological analyses. *Bulletin Ecology Society of American* 86(3):169-176.
- Pennington DD, D Higgins, AT Peterson, MB Jones, B Ludascher, and S Bowers. 2007. Ecological niche modeling using the Kepler workflow system. In Taylor JJ, E Deelam, DB Gannon, and M Shields (eds.) 2007. Workflow for e-science. Springer.
- Peterson AT and DA Vieglais. 2001. Predicting species invasions using ecological niche modeling: new approaches from bioinformatics attack a pressing problem. *BioScience* 51 (5):363-371.
- Pysek P, DM Richardson, M Rejmanek, GL Webster, M Williamson and J Kirschner. 2004. Alien plants in checklists and floras: towards better

- communication between taxonomists and ecologists. *Taxon* 53:131-143.
- Richardson DM, P Pysek, M Rejmanes, MG Barbour, FD Panetta and CJ West. 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions* 6:93-107.
- Romanuk TN, Y Zhou, U Brose, EL Berlow, RJ William and ND Martinez. 2009. Predicting invasion success in complex ecological networks. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 364:1743-1754.
- Stockwell D, D Peters. 1999. The GARP modeling system: problems and solution to automated spatial prediction. *Int J Geo Info Sci* 13(2):143-58.
- Wu SH, CF Hsieh, and M Rejmanek. 2004. Catalogue of the naturalized flora of Taiwan. *Taiwania* 49 (1):16-31.
- Wu SH, TYA Yang, YC Teng, CY Chang, KC Yang and CF Hsieh. 2010. Insight of the latest naturalized flora of Taiwan: change in the past eight years. *Taiwania* 55(2):139-159.
- Taylor JI, E Deelman, DB Gannon and M Shields. 2007. *Workflow for e-science*. Springer, London, UK.