

年輪寬度及密度與 EVI 之間的相關模型建立

Establishing the correlation model of EVI and Tree ring width & density

太魯閣國家公園管理處研究生研究報告

中華民國 101 年 12 月

年輪寬度及密度與 EVI 之間的相關模型建立

Establishing the correlation model of EVI and Tree ring width & density

研究生：王思皓

指導教授：袁孝維

太魯閣國家公園管理處研究生研究報告

中華民國 101 年 12 月

壹、摘要

關鍵字：樹輪、EVI、台灣冷杉、遙感探測

科學家希望透過比較古氣候與現在氣候的差別，以瞭解自然氣候變異之特性，進而建構較好的氣候模式，產生最佳的氣候預測。然而最早的氣象站的卻是在十八世紀末才設立，為了為了取得過往的氣候資料，科學家們利用粉胞學、鐘乳石、冰芯、樹輪等方法來試著重建過往的氣候模式。在許多的研究材料當中，樹輪被認為具有：(1)更好的年間解析度，(2)廣泛的分布範圍，以及(3)方便取得較多樣本進行比較等優點。

近年來大量運用在環境研究的遙感探測技術，可以做到大面積的環境監測，同時透過對地表不同物體對於不同波段反射能量的分析，可以提供我們許多可用於環境分析的指標數值。其中強化型植生指標(EVI)乃是改良自舊有的常態化差值植生指標(NDVI)，改善其熱帶以及亞熱帶地區等植物生長較為密集的地區，其數值會飽和的現象。

在經過目視定年以及使用 QMS-QTRS-01X Tree Ring Scanner 取得輪寬以及密度資料後，使用 COFECHA 以及 ARSTAN 程式進行定年檢視並建立標準年表(STD)、殘差年表(RES)、自迴歸年表(ARS)。

透過對於樹輪輪寬以及密度資料與不同的時間以及空間尺度的 EVI 資料進行比較，我們可以得知在 250m*250m 的空間尺度下，從前一年的 11 月至當年的 10 月的 EVI 平均值與樹輪年表的相關性較高，並以此建立出兩者之間的關係式，之後透過現有的樹輪資料來重建 1889 年至 2011 年之 EVI 資料。未來可利用 EVI 資料進行環境監測並推估樣區內的樹木生長變化，同時也可透過樹輪的資料來推估樣區內過去的 EVI 數值。

貳、文獻探討

為了瞭解近年來的氣候變遷，科學家們希望透過與古氣候資料進行比較的方式，來瞭解氣候變遷模式及未來可能的變化。然而人類最早開始對於氣候資料進行紀錄卻是在十八世紀初才開始於西歐進行，其餘地區一直到十九世紀末，甚至是二十世紀初才開始有氣候資料的紀錄(Hughes *et al.*, 2011)。在資料來源受限制的情況之下，使得我們難以將時間軸上的氣候資料向過去推展以進行比較。

為了取得過往的氣候資料，科學家們利用粉胞學(Guillot *et al.*, 1989; Rossignolstrick and Planchais, 1989; Tzedakis *et al.*, 1994; Aaby and Tauber, 1995)、鐘乳石(Cruz *et al.*, 2005a; Cruz *et al.*, 2005b)、冰芯(Petit *et al.*, 1999; Wang *et al.*, 2001)、樹輪(Conkey, 1986; Cook *et al.*, 2006)等方法來試著重建過往的氣候模式。然而在這些研究材料當中均有其在使用上的限制因子存在。

粉胞學乃是利用沉積層當中的植物花粉在時間上的分布變化，透過植物會隨著氣候變化而遷徙移動至適宜棲地的特性，分析並瞭解沉積層中花粉的植物種類，進而推斷當時的氣候環境。然而粉胞學在使用上會受到開花植物分布範圍的影響，以及花粉在沉積層中的保存狀況也會影響到氣候訊號的品質。

鐘乳石及冰芯是透過分析在形成的過程當中會產生類似樹輪的圓環狀切面，來建立過往的氣候模型，然而這兩項研究材料在空間的分布上遠不如植物來的廣泛，鐘乳石只會存在於石灰岩地形中，而冰芯只能從高山上或是南北極取得，同時也因為分布範圍的關係，採取樣本的成本非常昂貴，並非一般的研究室或是研究計畫所能負擔。但是在時間上，鐘乳石或是冰芯可以回溯到數十萬年以前，不過訊號的解析度會比粉胞學或是樹輪都來的差。

在過往的樹輪研究中是利用樹木在生長時，因為環境因子的不同造成年輪寬度(Total ring width, TRW)以及晚材最大密度(Maximum latewood density, MXD)的不同，透過這兩項數值來做為樹木生長的指標，並以此來推斷當時的氣候資訊。在空間上，樹木的分布範圍比開花植物以及鐘乳石、冰芯都來的廣泛，同時其年

間的訊號解析度也都比上述的其他材料來的好。目前一般認為利用樹輪來做過往氣候的研究會比鐘乳石、冰芯以及粉胞學來的好。原因有下列幾點：(1)樹輪具有較好的年間解析度。(2)分布範圍較廣。(3)方便取得大量的樣本進行資料的比對(McCarroll and Loader, 2004)。

遙感探測技術近幾年來大量運用在環境研究當中。利用不同波段的光譜進行分析，可以從影像當中推導出一地區的植物生長狀況。其中 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index，常態化差值植生指標)(Townshend *et al.*, 1985)以及 EVI(Enhance Vegetation Index，強化型植生指數)(Huete *et al.*, 2002)經研究證實最能反映出植物的生長狀況(Huete *et al.*, 2002; Gurung *et al.*, 2009)。其中 NDVI 在熱帶、亞熱帶地區因為植物生長較密，會造成其數值飽和的現象，因此相較起來 EVI 更為適合用作植物生長狀況的指標。EVI 更被證實能夠反映出一地區的初級生產量(Colombo *et al.*, 2003)，同時初級生產量與植物的生長勢息息相關，而能夠反映在年輪寬度以及密度上。

參、研究方法與過程

一、 樣區地點

我們選擇太魯閣國家公園內的小風口(海拔 2876m)至武嶺(海拔 3282m)沿線間的冷杉天然林作為樣區(圖一)。

二、 生長錐樣本的採集

我們預期在小風口(海拔 2876m)至武嶺(海拔 3282m)沿線採集共 30 顆樣木的生長錐樣本，為檢定出缺輪以及偽輪的發生，每顆樣木採取兩支生長錐樣本。

採樣器材將使用 HOGLOF 生長錐鑽取，以對採樣樹木最小傷害及傷口為準。在採樣後，我們將以酒精先將傷口周圍消毒之後，以 LAC BALSAM®樹皮膠將傷口密封，以避免真菌或是細菌的感染(Hudler and Jensen-Tracy, 2002)。

三、 生長錐樣本處理

鑽取出的生長錐樣本在帶回研究室後，將樣本置於特製的砧木上，利用透氣膠帶將其固定並於上方施以重物，避免樣本於乾燥過程中產生彎曲的現象。

乾燥完成的樣本將其以動物膠埋黏進預先切出凹槽的木塊當中，再將其切成 2mm 厚度的切片樣本(圖二)，之後前往林業試驗所使用 QMS-QTRS-01X Tree Ring Scanner 掃描取得樣本輪寬以及密度資料。

四、 輪寬資料的處理

在取得輪寬資料之後，使用 COFECHA 程式進行定年的檢視，並從中篩選出品質較佳之樣本。再利用這些使永 ARSTAN 程式製作出樹輪寬度年表。

ARSTAN 程式依資料處理方式可輸出四種樹輪寬度年表：原始寬度年表(RAW)、標準年表(STD)、殘差年表(RES)、自迴歸年表(ARS)。一般的樹輪研究多利用後三項年表進行資料的分析。

五、 EVI 資料來源

EVI 的資料可從美國 NASA 的網站進行下載

(http://www.echo.nasa.gov/reverb/about_reverb.htm)

肆、研究結果

一、 樣本狀況

本次研究共採集了 30 株樣木，每株樣木採集兩隻生長錐樣本共 60 支樣本。

在所有採集的樣本當中去除掉受到蟲蛀、腐朽、節以及樹輪生長太密或是樹輪不清楚的樣本，共有 24 株樣木 44 支生長錐樣本可用於後續的分析工作(表一)。在經過目視定年以及使用 QMS-QTRS-01X Tree Ring Scanner 取得輪寬資料後使用 COFECHA 程式進行定年檢視並做出簡易的主序列年表，用以修正樣本的定年。接著從中選擇出相關性大於 0.4 之樣本，接利用 ARSTAN 程式建立標準年表(STD)、殘差年表(RES)、自迴歸年表(ARS)(圖三)。

樹輪密度的部分，使用 QMS-QTRS-01X Tree Ring Scanner 可取得樣本的早材(生長季所生成之木材)密度、晚材(非生長季所生成之木材)密度、年輪平均密度三種資料。

二、 EVI 資料的處理

為比較在不同空間以及時間尺度下樹輪寬度以及密度能反映出的環境，總共分別使用三種空間尺度以及三種時間尺度來比較 EVI 與樹輪寬度以及密度之間關係。因為 EVI 資料在空間上一個資料點的大小為 250m*250m，在空間尺度上分為 0.25km*0.25km、2.25km*2.25km、4.25km*4.25km 三種；時間尺度上則依照年分以及冷杉的生長季分為 1 月~12 月、5 月~10 月(冷杉生長季)、前一年 11 月~當年 10 月三種。

三、 樹輪寬度與 EVI 的比較

從圖三中我們可以看出在經過 ARSTAN 程式的分析後所得到之標準年表(STD)、殘差年表(RES)、自迴歸年表(ARS)，三者之間並沒有顯著的差異，彼此之間的相關係數均為 $r=1$ ， $p<0.001$ 。原始寬度年表(RAW)乃是未經過標準化程

序的樹輪生長資料，其中包含了樹木本身的生長勢，以及樣區內的林份環境資訊，而另外三種年表有一定的差異存在，在後續的資料分析工作均使用標準年表(STD)、殘差年表(RES)、自迴歸年表(ARS)進行分析。

從圖四我們可以看到在不同的空間尺度上，樹輪年表與年間的 EVI 資料具有相同的趨勢存在，但大部分的資料時間點均不具顯著的相關，且具有顯著相關的時間點也是錯開的。

在我們將不同時間區段的 EVI 資料進行整理後，從圖五中可以看到在 250m*250m 的空間尺度下，從前一年的 11 月(非生長季)至當年的 10 月(生長季結束)，EVI 的平均值與樹輪年表具有顯著相關($r = 0.636$, $p < 0.05$)；在 2.25km*2.25km 的空間尺度下，只有標準年表(STD)是與當年的 1 月至 12 月的 EVI 平均值具有顯著相關($r = 0.500$, $p < 0.05$)；在 4.25km*4.25km 的空間尺度下，三個年表均與年的 1 月至 12 月的 EVI 平均值具有顯著相關(STD： $r = 0.506$, $p < 0.05$ ；RES： $r = 0.503$, $p < 0.05$ ；ARS： $r = 0.503$, $p < 0.05$)。雖然在 2.25km*2.25km 以及 4.25km*4.25km 的空間尺度下樹輪年表與前一年的 11 月至當年的 10 月的 EVI 平均值並沒有呈現顯著相關，但其相關係數仍然是較高的(2.25km*2.25km： $r = 0.451$, $p = 0.071$ ；4.25km*4.25km： $r = 0.440$, $p = 0.076$)。

四、 樹輪密度與 EVI 的比較

我們利用樹輪的早材密度、晚材密度、以及年輪平均密度三種密度資料與 EVI 進行比較。從圖六中我們可以看到在冷杉樣本當中早材密度、晚材密度以及年輪平均密度的年間變化是相當一致的。

三種空間尺度的 EVI 資料與三種密度資料的比較(圖七)，其中早材密度以及年輪平均密度與 EVI 資料的相關性在三種空間尺度上具有相類似的趨勢，晚材密度則沒有一定的變化趨勢，且相關性大多不高。

早材密度在生長季開始之前的四月達到顯著的正相關(三種空間尺度：

$p < 0.01$)，在生長季初期的四月底至五月呈現顯著的負相關，其餘的時間區段大多呈正相關的關係。

晚材密度與全年間的 EVI 資料進行比較，除了在 250m*250m 的空間尺度上與 8 月底的 EVI 資料具有顯著負相關之外($r = -0.513$ ， $p < 0.05$)，其餘時間點的比較相關性均不高，也不具有一定的趨勢變化。

年輪平均密度與 EVI 資料間的關係變化與早材平均密度相似，於生長季初期的 EVI 資料呈現顯著的負相關，其餘的時間大約呈現正相關的關係。

圖八顯示在與不同的 EVI 時間區段比較之下，除了晚材密度在 250m*250m 的空間尺度之下與前一年 11 月至當年 10 月的 EVI 平均值呈顯著負相關($r = -0.555$ ， $p < 0.05$)之外，其餘密度資料與 EVI 資料的比較均沒有呈現顯著的相關性。然而我們依然可以從圖中看出早材密度與 EVI 的資料在生長季的 5 月至 10 月以及當年的 1 月至 12 月是呈現正相關；晚材密度與生長季的 5 月至 10 月以及前一年 11 月至當年 10 月的平均 EVI 呈現負相關；年輪平均密度則沒有較一致的相關趨勢。

五、 過往 EVI 資料的重建

參考上述的資料分析結果，可以看出年輪寬度與 EVI 資料之間的關係比年輪密度與 EVI 資料之間的關係來的較佳。同時密度資料與 EVI 資料之間並沒有顯著性的關係趨勢。因此選擇只利用樹輪年表做為推估過往 EVI 的參數，而不考慮密度資料的部分。

在三種年表之中，標準化年表(STD)、殘差年表(RES)、自迴歸年表(ARS)三者之間並沒有顯著差異。在 250m*250m 的空間尺度下，利用標準化年表(STD)與前一年 11 月至當年 10 月的平均 EVI 進行線性迴歸可得到方程式 $y = 0.0985x + 0.1418$ ，利用殘差年表(RES)以及自迴歸年表(ARS)進行線性迴歸可得方程式 $y = 0.0983x + 0.1422$ ，兩方程式間差異不大；在 2.25km*2.25km 的空間尺度下使用

三種樹輪年表與當年 1 月至 12 月的 EVI 平均值進行線性迴歸可得方程式:STD:
 $y = 0.0614x + 0.2588$, RES : $y = 0.0607x + 0.2596$, ARS : $y = 0.05x + 0.2835$; 在
4.25km*4.25km 的空間尺度下使用三種樹輪年表與當年 1 月至 12 月的 EVI 平均
值進行線性迴歸可得方程式 : STD : $y = 0.0505x + 0.2829$, RES : $y = 0.05x +$
0.2835 , ARS : $y = 0.05x + 0.2835$;

接著使用 ARSTAN 程式建立出 1889 年至 2011 年的樹輪年表，將 ARSTAN
程式計算所得之標準化年表(STD) 、殘差年表(RES)、自迴歸年表(ARS)分別帶
入方程式中，可得圖九之不同空間以及時間尺度下 EVI 重建結果。

伍、討論

本次研究所採集之 60 之冷杉生長錐樣本，其中共有 44 支樣本可用於後續的分析工作。在無法使用的 16 之樣本當中，包含 1 隻蟲蛀樣本，4 支腐朽樣本，7 支有節樣本以及 4 支因年輪生長過於密集無法判讀的樣本。然而蟲蛀以及腐朽樣本在採集時觀察其樹勢均未見受到影響，且蟲蛀以及腐朽發生的時間點多在 30 年以前，顯示該樣區的冷杉生長鮮少受到蟲蛀以及腐朽的影響。

在年內 EVI 資料與樹輪年表的比較當中，在三種空間尺度之下，均在生長較為旺盛的 6 月至 8 月之間呈現負相關，其他時間點多呈現正相關，造成此種關係的原因可能來自於生長季時的高 EVI 並沒有及時的反應在輪寬生長上，同時輪寬資料是在過去一整年的生長綜合結果，如果僅用年中的單個時間點資料來進行比較，就會使得非生長季的年輪生長影響到生長季時的比較結果。

將 EVI 資料分為 1 月~12 月、5 月~10 月(冷杉生長季)、前一年 11 月~當年 10 月三種的結果當中，在 250m*250m 的小空間尺度下，因為 EVI 的資料點範圍內除了一小部分包含到箭竹草原，其餘均為冷杉林，而較能忠實地反映出冷杉的生長狀況，因此在 5 月~10 月的時間區段與樹輪年表達到顯著，且高於 1 月~12 月的時間區段。然而在將尺度放大後，因為 EVI 資料範圍包含到周遭的箭竹草原、道路、人工建築物以及裸露地，其中大部分是受到箭竹草原以及裸露地的影響，使得 EVI 數值在前一年 11 月~當年 10 月的部分沒有反映出冷杉的數輪年表，然而在所有的比較之中仍然是以在 250m*250m 的空間尺度下，以前一年 11 月~當年 10 月的 EVI 平均值與樹輪年表的相關性最高($r = 0.636$, $p < 0.05$)。

在年內 EVI 資料與樹輪寬度的比較當中，在三種空間尺度之下，不論是晚材密度、早材密度以及年輪平均密度，均沒有顯現出相同的變化趨勢。僅在生長季開始年的 4 月，早材密度在三種空間尺度下均與 EVI 呈現顯著正相關，其原因來自於當接近生長季時 EVI 數值已開始明顯的提高，然而年輪的生長尚未完全的開始，因生長勢較慢而產生較大的密度，而與 EVI 數值呈現顯著正相關。

在生長季初期的 5 月，此時年輪生長快速，因此密度會比其他時間來的低，而使得年輪平均密度以及早材密度，在三種空間尺度下均與 EVI 數值呈現顯著負相關。然而在將 EVI 分為三個時間區段的部分，除了晚材密度與生長季期間的平均 EVI 值呈顯著的負相關之外，其他的比較均未達到顯著標準。

因為在密度的比較上結果不盡理想，因此僅採用樹輪年表的部分作為過往 EVI 推估的參數。在三種空間尺度之下分別將三種樹輪年表與其相關性最高的 EVI 時間區段資料進行線性迴歸，並將 1889 年至 2011 年的樹輪年表分別帶入方程式中做出圖的 1889 年至 2011 年的 EVI 變化圖。

從圖九中可以看出在不同時間尺度以及不同空間下的 EVI 變化在數值上雖有所差異，但在其變化趨勢上仍是一致的。在過去的 120 年間，從 1889 年至 1930 年之間 EVI 數值呈現逐漸上升的趨勢，在 1930 年至 1940 年快速的下降，在 1940 年至 1990 年間呈現緩慢的上升，並於 1990 年後呈現一個下降的趨勢。查閱過去的史料，在 1930 年至 1935 年之間，日本人於霧社至太魯閣開闢了一條「理番道路」，此一道路極為目前中橫公路的前身，在 1930 年至 1940 年 EVI 數值的快速的下降，便有可能是冷杉植群受到道路開發的影響。然而此一變化趨勢是長時間上的固定波動，或樣區內的植物生長受到環境變化的影響，其確切原因須更進一步的採樣研究才能得知。

陸、結論

透過對於樹輪年表對不同空間尺度以及時間尺度下的 EVI 資料進行比較，目前我們知道可以透過冷杉的樹輪年表來得之在 250m*250m 的空間尺度下，過去從前一年的 11 月至當年的 10 月的 EVI 平均值；反之，我們也可透過此方法，透過 EVI 值的計算，來得之樣區內冷杉的輪寬生長狀況。在密度的部分目前僅可看出部分可能的方向，而無法得知其與 EVI 之間較清晰的關係。

然而不論在年輪寬度或是密度，均須更進一步的採樣，以及透過與不同樣區的樣本比較，對此結果進行驗證。相信未來在更多的樣本支持下，可以修正此模式，使其能達到最佳的預測能力。

柒、施政建議

近年來遙測技術大量使用於大空間尺度的環境監測以及研究上，其中 EVI 更可作為環境中植物生長的一個重要指標數值；同時長期以來樹輪一直是研究古氣候以及環境變遷的重要材料之一。然而 EVI 受限於其發展時間較晚，資料的時間軸較短的問題；而樹輪則因為難以大範圍大面積的採樣而受到區域的限制。在兩者結合之下，可互補彼此之不足之處。未來可利用 EVI 資料監測大範圍的冷杉生長狀況，透過更進一步的採樣研究可以將此結果應用於其他的樹種上，而能針對各海拔不同的樹種進行研究以及監測。

捌、參考資料

- Aaby, B., Tauber, H., 1995. Eemian Climate and Pollen. *Nature* 376, 27-28.
- Colombo, R., Bellingeri, D., Fasolini, D., Marino, C.M., 2003. Retrieval of leaf area index in different vegetation types using high resolution satellite data. *Remote Sensing of Environment* 86, 120-131.
- Conkey, L.E., 1986. Red spruce tree-ring widths and densities in Eastern North-America as indicators of past climate. *Quaternary Research* 26, 232-243.
- Cook, E.R., Buckley, B.M., Palmer, J.G., Fenwick, P., Peterson, M.J., Boswijk, G., Fowler, A., 2006. Millennia-long tree-ring records from Tasmania and New Zealand: a basis for modelling climate variability and forcing, past, present and future. *Journal of Quaternary Science* 21, 689-699.
- Cruz, F.W., Burns, S.J., Karmann, I., Sharp, W.D., Vuille, M., Cardoso, A.O., Ferrari, J.A., Dias, P.L.S., Viana, O., 2005a. Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. *Nature* 434, 63-66.
- Cruz, F.W., Karmann, I., Magdaleno, G.B., Coichev, N., Viana, O., 2005b. Influence of hydrological and climatic parameters on spatial-temporal variability of fluorescence intensity and DOC of karst percolation waters in the Santana Cave System, Southeastern Brazil. *Journal of Hydrology* 302, 1-12.
- Guiot, J., Pons, A., Debeaulieu, J.L., Reille, M., 1989. A 140,000-year continental climate reconstruction from 2 european pollen records. *Nature* 338, 309-313.
- Gurung, R.B., Breidt, F.J., Dutin, A., Ogle, S.M., 2009. Predicting Enhanced Vegetation Index (EVI) curves for ecosystem modeling applications. *Remote Sensing of Environment* 113, 2186-2193.
- Hudler, G., Jensen-Tracy, S., 2002. Lac Balsam® as a treatment to hasten wound closure and minimize discoloration and decay. *Journal of Arboriculture* 28, 264-269.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., Ferreira, L.G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83, 195-213.
- Hughes, M.K., Swetman, T.W., Diaz, H., 2011. *Dendroclimatology: Progress and Prospects*. Springer Verlag, New York.
- McCarroll, D., Loader, N.J., 2004. Stable isotopes in tree rings. *Quaternary Science Reviews* 23, 771-801.
- Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I., Barnola, J.M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V.M., Legrand, M., Lipenkov, V.Y., Lorius, C., Pepin, L., Ritz, C., Saltzman, E., Stievenard, M., 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years

- from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399, 429-436.
- Rosignolstrick, M., Planchais, N., 1989. Climate Patterns Revealed by Pollen and Oxygen Isotope Records of a Tyrrhenian Sea Core. *Nature* 342, 413-416.
- Townshend, J.R.G., Goff, T.E., Tucker, C.J., 1985. Multitemporal dimensionality of images of normalized difference vegetation index at continental scales. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 888-895.
- Tzedakis, P.C., Bennett, K.D., Magri, D., 1994. Climate and the Pollen Record. *Nature* 370, 513-513.
- Wang, Y., Cheng, H., Edwards, R., An, Z., Wu, J., Shen, C., Dorale, J., 2001. A high-resolution absolute-dated late Pleistocene monsoon record from Hulu Cave, China. *Science* 294, 2345.

玖、圖表

表一、冷杉樣本基礎資料

樣木編號	樹齡(year)	胸徑(cm)
1	114	44.6
2	139	40
3	114	35.5
5	48	29.4
6	67	34.5
7	61	44.4
8	48	36.5
9	72	42.7
11	102	44.8
15	130	51.6
16	111	34.1
18	134	46
19	42	36.6
20	41	41.1
21	119	43
22	112	45.1
23	127	36.3
24	150	41.5
25	42	29.9
26	52	31.9
27	67	33.1
28	60	38.5
29	53	34.4
30	52	32.8

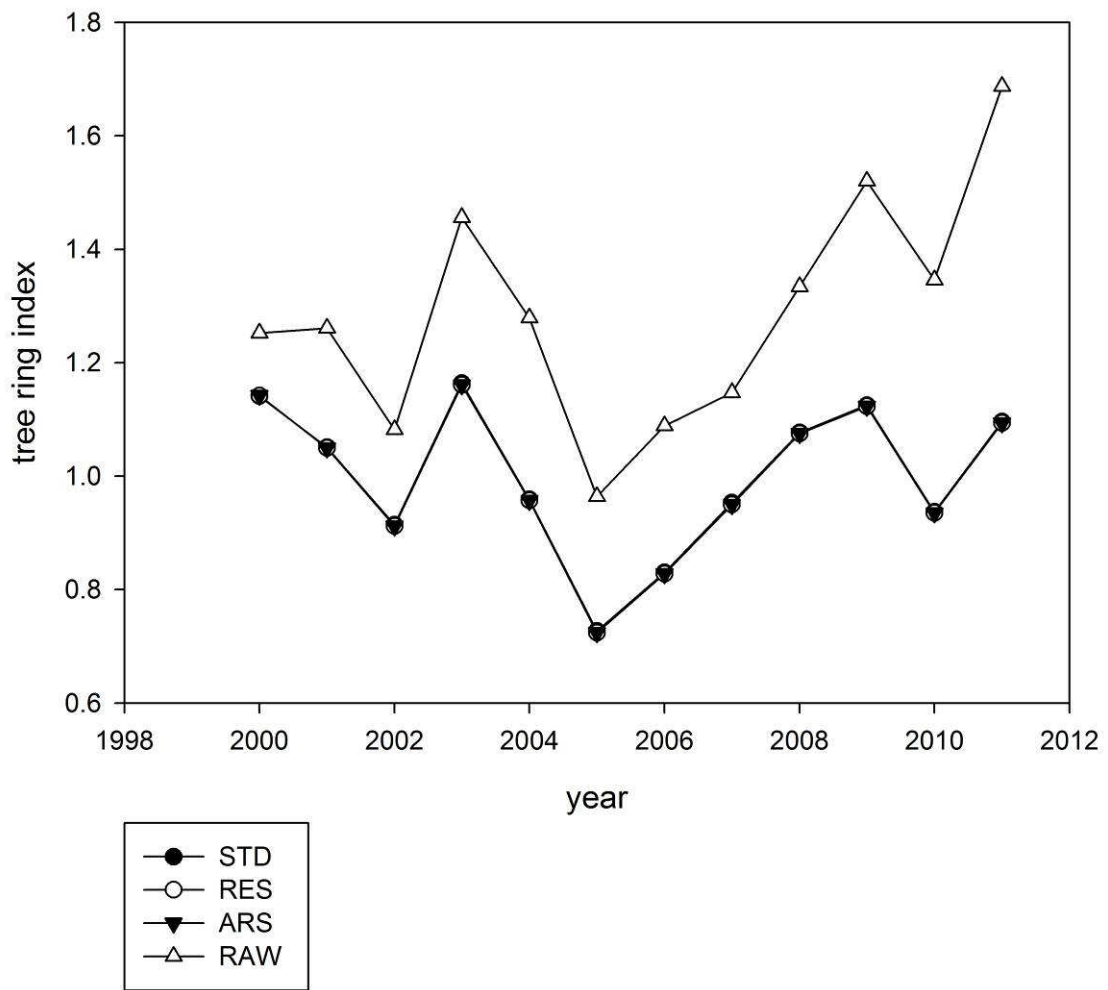


圖一、樣區位置圖

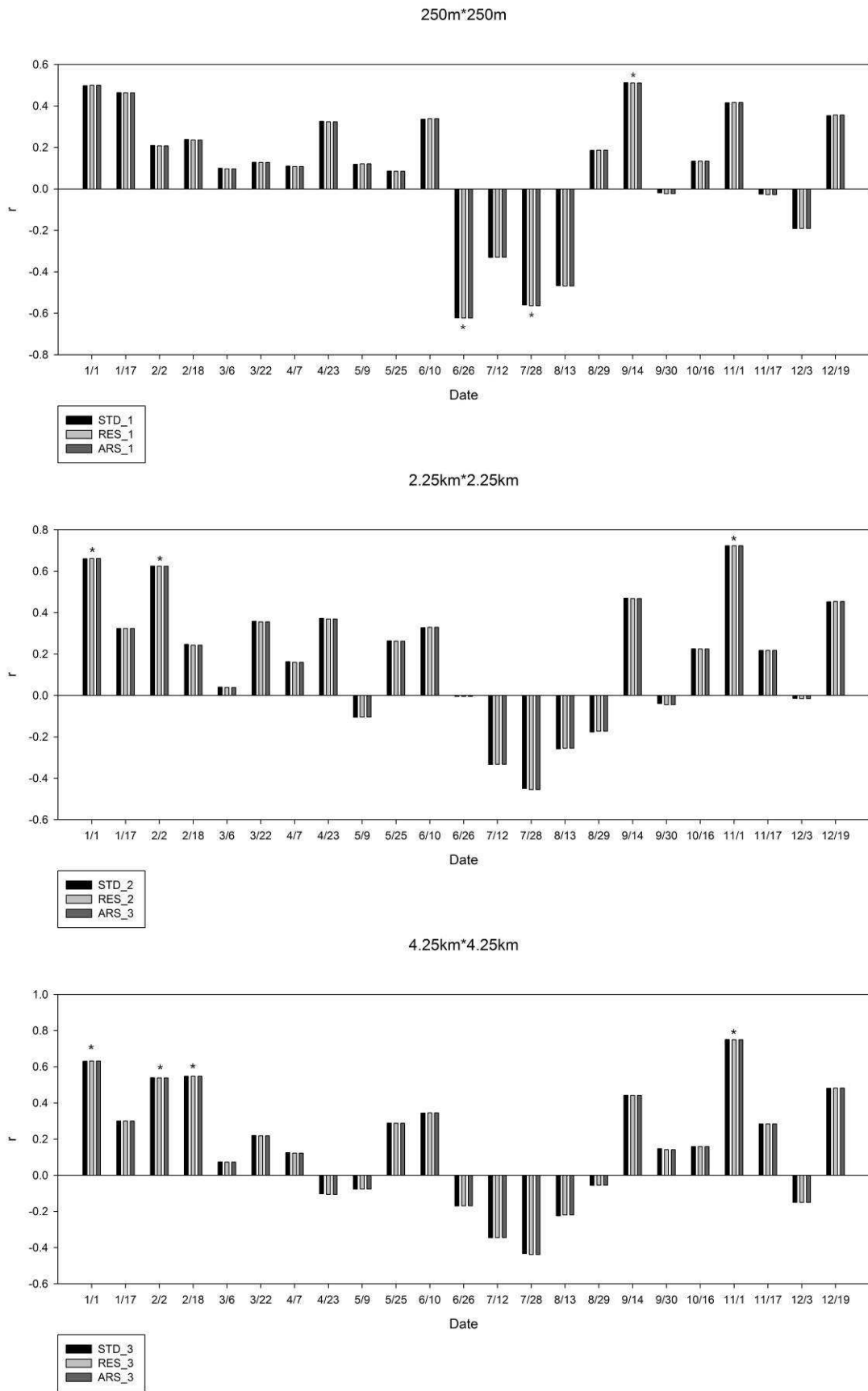


圖二、冷杉樣本處理過程圖

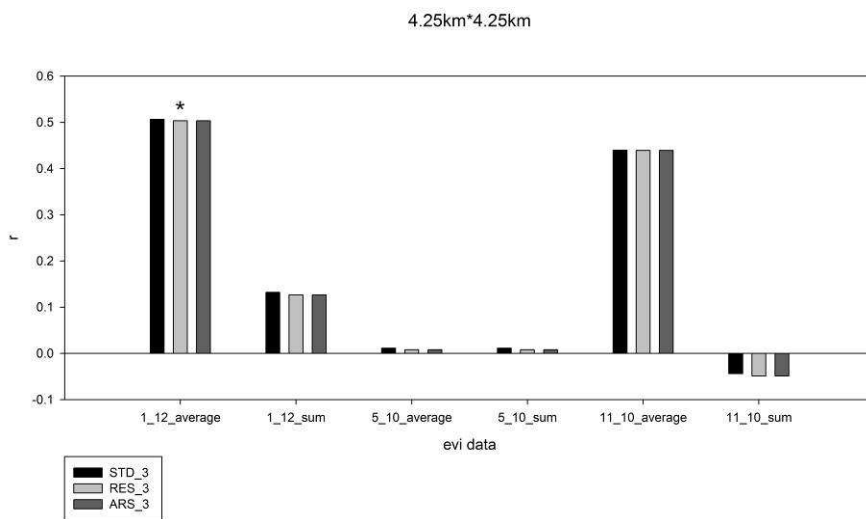
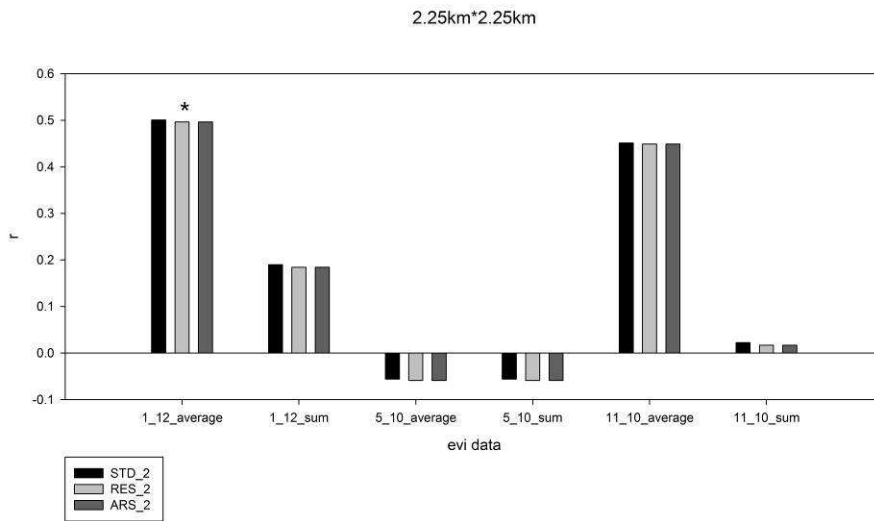
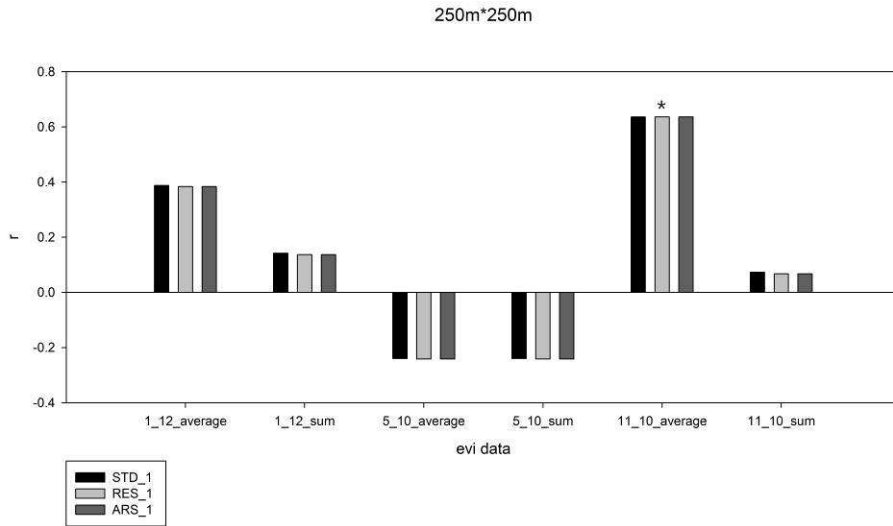
Tree Ring



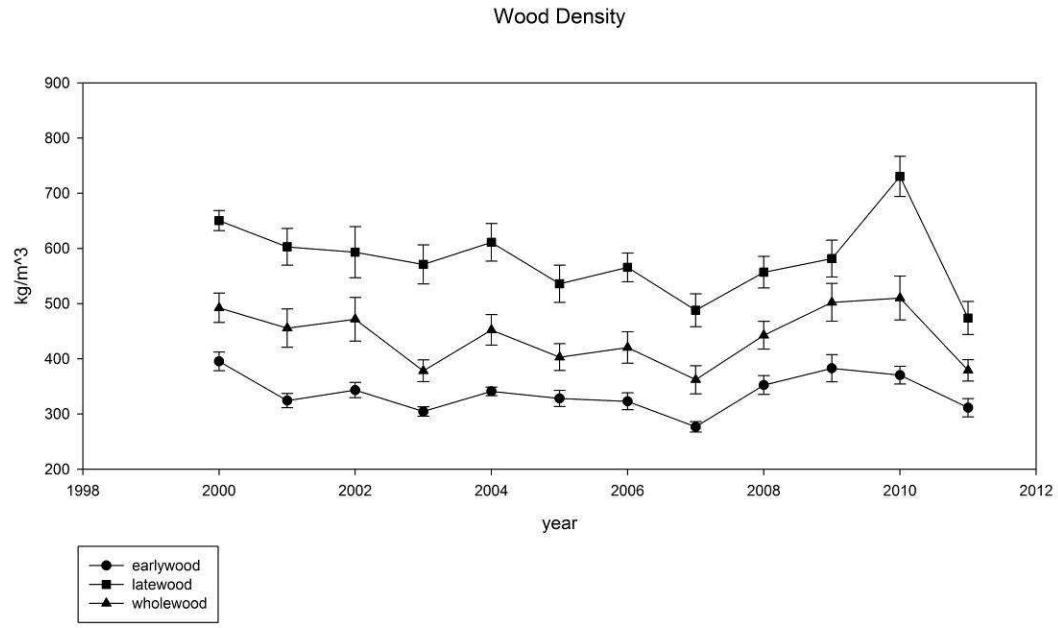
圖三、樹輪年表圖



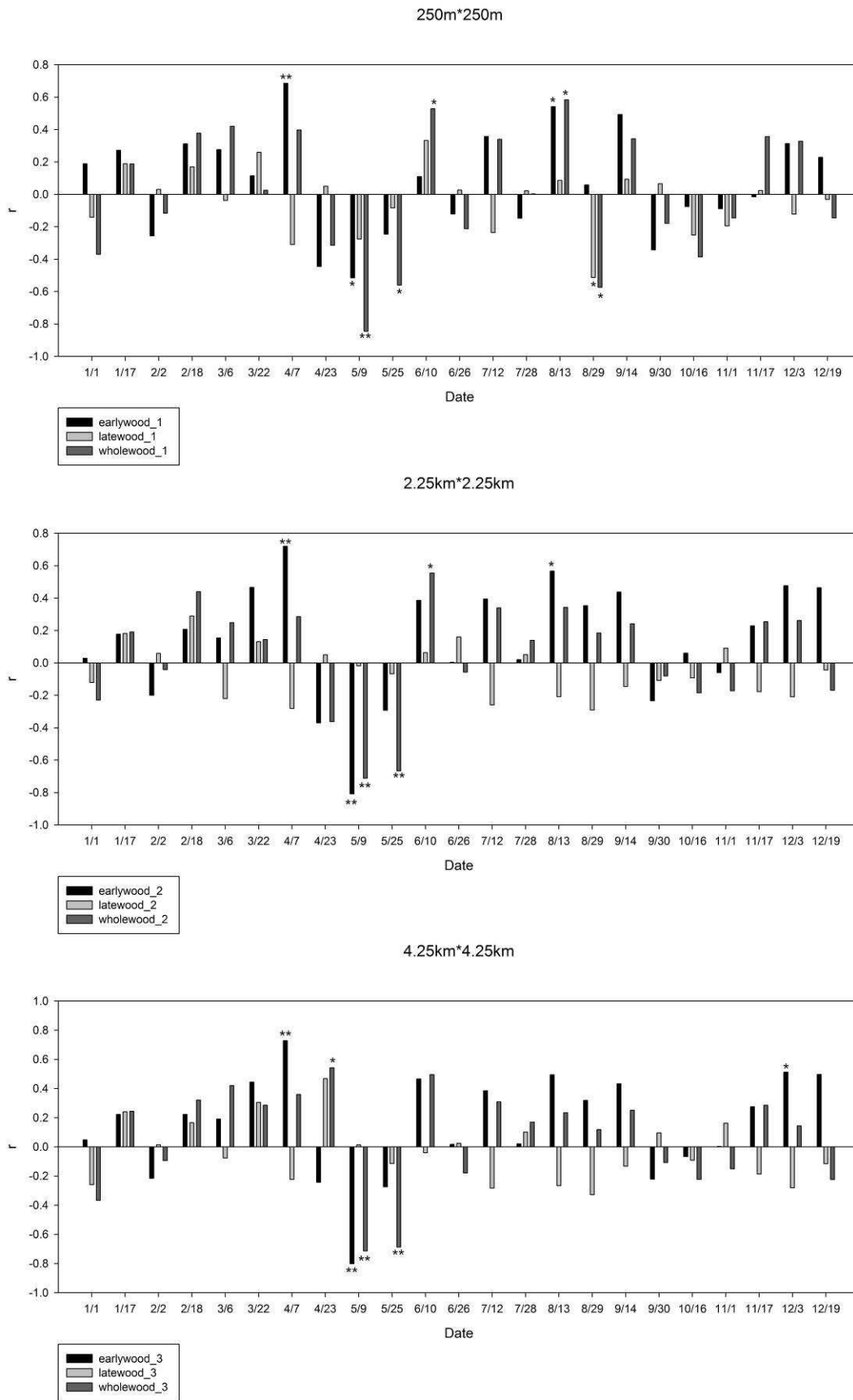
圖四、在不同空間尺度下，年內 EVI 與樹輪年表關係圖



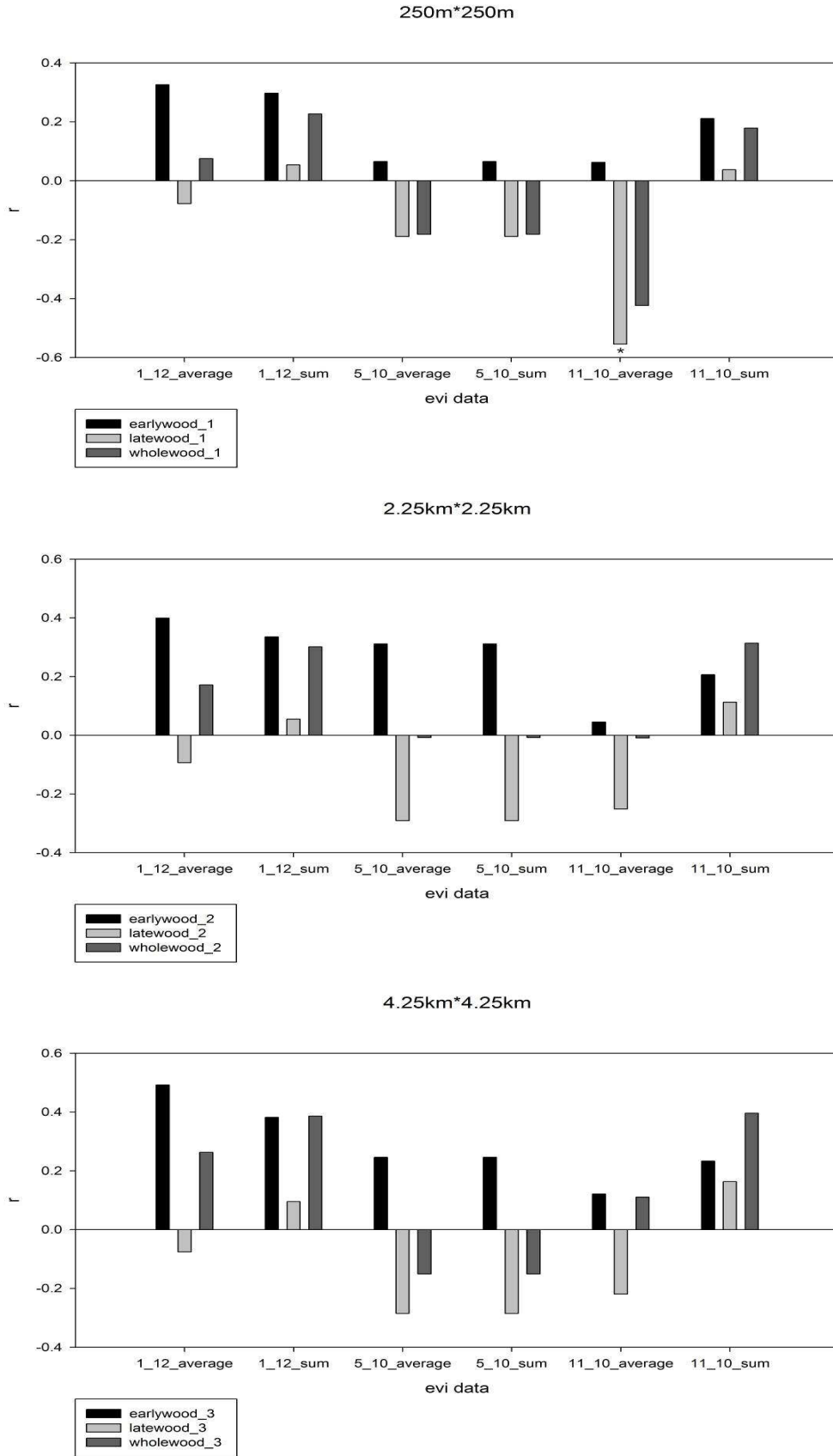
圖五、在不同空間尺度下，不同時間區段之EVI與樹輪年表關係圖



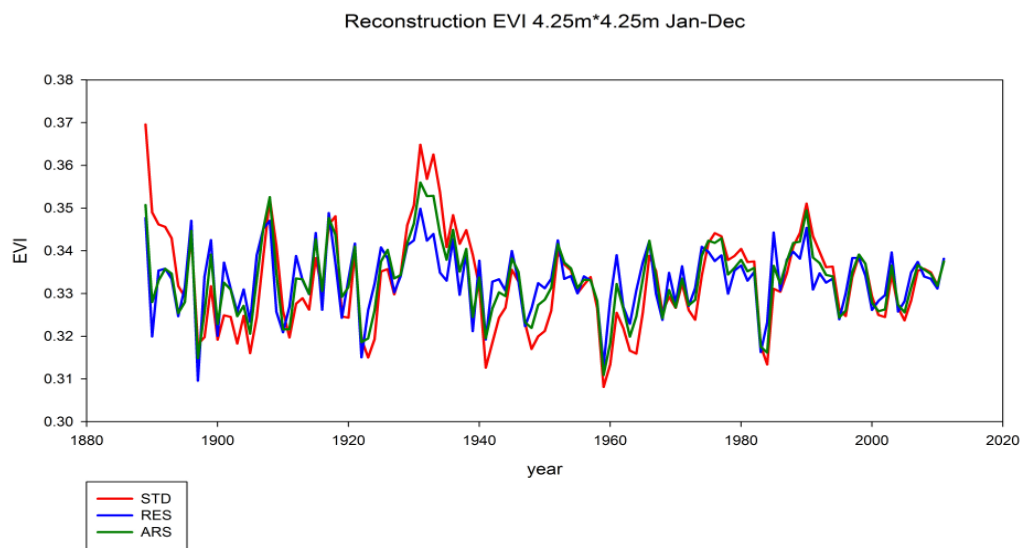
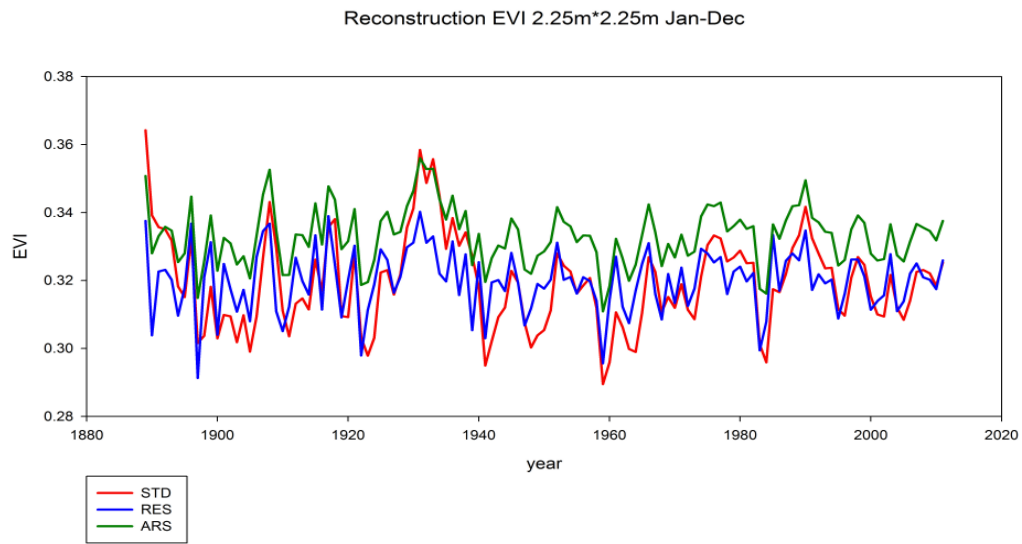
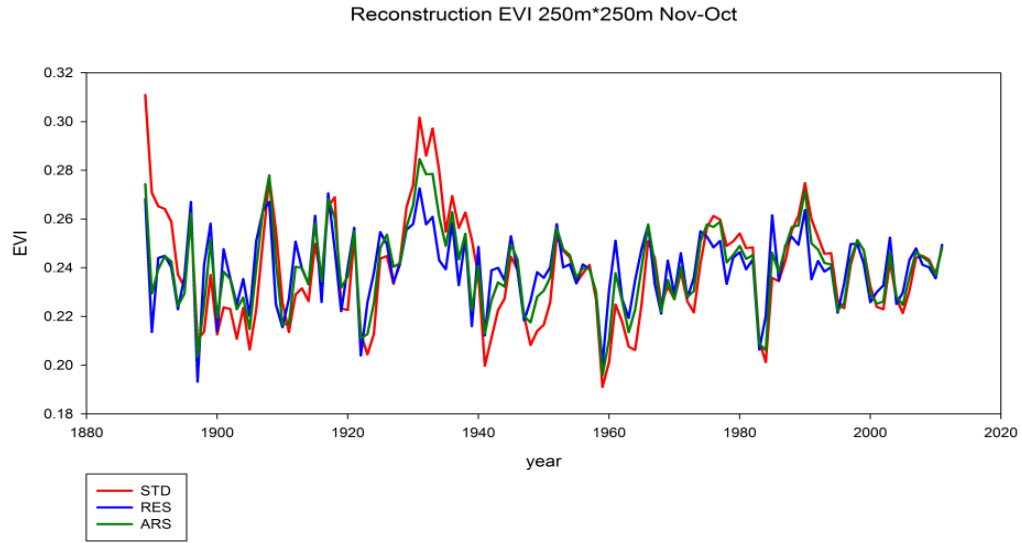
圖六、早材密度、晚材密度、年輪平均密度變化圖



圖七、在不同空間尺度下，年內 EVI 與樹輪密度關係圖



圖八、在不同空間尺度下，不同時間區段之EVI與樹輪密度關係圖



圖九、1889 年至 2011 年的 EVI 變化圖