

研究報告

以過去發表資料為基礎分析臺灣地區人工針葉樹林、闊葉樹林和竹林之碳吸存量

洪千祐¹ 顏添明^{1,*}

【摘要】由於人工林具有高生產力的特性，過去已有許多研究探討臺灣不同種類人工林的蓄積量、生物量及碳貯存量，本研究蒐集這些資料為基礎進行分析，由於本研究的目的在於探討人工林之碳吸存能力，因此須先將所蒐集之上列資料轉換為碳吸存量。本研究將資料區分為人工針葉樹林、闊葉樹林及竹林等三大類型，基本資料包括林分的其他性態值，如平均胸徑、平均樹高、林分密度、年均溫、年雨量及海拔高等。由相關分析探討三種類型人工林之碳吸存量和和其他林分性態值之相關性所得結果發現，和碳吸存量具顯著相關的林分性態值在三種不同類型人工林的表現並不具一致性。此外，以變方分析和最小顯著性差異法比較三種類型人工林之碳吸存量，所得結果呈現竹林 ($5.47 \pm 3.84 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) 明顯高於針葉林 ($2.69 \pm 1.04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) 和闊葉林 ($2.20 \pm 1.07 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)。

【關鍵詞】碳貯存、碳吸存、人工林、針葉樹林、闊葉樹林、竹林

Research paper

Analysis of carbon sequestration for coniferous, broadleaf and bamboo plantations based on the published data

Chien-Yu Hung¹ Tian-Ming Yen^{1,*}

【Abstract】Due to plantations with high productivity, numerous researches have reported growing stock, biomass accumulation and carbon storage of various species in Taiwan. We collected these published data of plantations as the basis for further analyze. Since the purpose of the present study was to assess the ability of carbon sequestration (CE) of plantations, all of different data were transferred into CE for plantations. Three major plantation types were categorized, namely coniferous, broadleaf and bamboo plantations. The data set also contained other stand characteristics, such as mean diameter at breast height, mean tree height, stand density, average annual temperature, annual rainfall and altitude above sea level. We analyzed the relationships between the CE and other stand characteristics based on the correlation analysis; however,

1. 國立中興大學森林學系

Department of Forestry, National Chung Hsing University.

* 通訊作者，臺中市40227南區興大路145號

Corresponding author. 145 Xingda Road, Taichung City 40227 Taiwan. Email: tmyen@dragon.nchu.edu.tw

the stand characteristics which had significant correlation with the CE were not consistent among the plantations of different types. Moreover, we compared the CE among which plantations using an analysis of variance and the least significant difference method, and found that bamboo plantations had higher CE value ($5.47 \pm 3.84 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) than that of coniferous plantations ($2.69 \pm 1.04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) and broadleaf plantations ($2.20 \pm 1.07 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$).

【**Key words**】 carbon storage, carbon sequestration, plantation, coniferous plantations, broadleaf plantation, bamboo plantation.

一、前言

森林是陸域面積最為廣大且物種組成及結構最為複雜的生態系，其具有多元的功能可提供人類不同性質的生態服務，其中強大的固碳能力在近年來尤受到矚目，由於 CO_2 為大氣中重要的溫室氣體組成之一，所佔比例超過達全部溫室氣體的半數以上，因此被認為是引起全球暖化 (global warming) 的主因之一，如能藉由森林生態系有效地將碳素吸存及固定，將有助於減緩全球暖化，由於植林減碳能讓溫室氣體中的 CO_2 濃度受到控制，所以也成為減緩全球暖化的重要工作及策略之一 (黃裕星，2011；Yen and Lee, 2011; Yen and Wang, 2013)。

臺灣具有豐富而多樣性的森林資源，其中人工林除了具高生產力的特性外，也有很高的經濟價值 (Yen *et al.*, 2009; Lin, 2011; Yen and Wang, 2013)，過去學者探討臺灣人工林蓄積量 (stocking)、生物量 (biomass accumulation) 及碳貯存量 (carbon storage) 的相關文獻豐富，但多為地區性資料或僅就單一樹種進行調查分析，為瞭解不同類型人工林之碳吸存能力，本研究蒐集臺灣地區所發表人工林之蓄積量、生物量及碳貯存量等文獻進行整理分析，以比較其在碳吸存能力的差異性。

本研究之資料來源為臺灣主要林業學術期刊及相關研究報告，將所蒐集之資料分為人工針葉樹林、闊葉樹林及竹林。本研究主要目的為：(1) 瞭解不同類型人工林之碳吸存能力、(2) 分析碳貯存量和碳吸存量此二者與林分性

態值之關連性、及 (3) 比較不同類型人工林在碳吸存量的差異性。

二、研究材料與方法

(一) 研究材料

本研究所蒐集文獻的主要來源為臺灣地區林學期刊，包括：中華林學季刊、臺灣林業科學 (林業試驗所研究報告季刊)、林業研究季刊、林業試驗所研究報告 (單行本)、國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 (以下簡稱臺大實驗林研究報告)，及其他相關研究報告。蒐集以上報告所公開發表之人工林不同樹種之森林蓄積量、生物量及碳貯存量文獻，並就這些資料將其分類為人工針葉樹林、闊葉樹林及竹林，且研究區域皆位於臺灣地區，茲將其整理如表1。由表1可知早期臺灣人工林之研究多著重於蓄積量之推估，竹林則以生物量為主，近期才逐漸趨向碳貯存量的研究。由於本研究採用次級資料分析 (meta-analysis)，蒐集文獻所呈現的資料並不一致，可能為材積量、生物量或碳貯量，只要符合此三者其中一項，皆納入本研究之資料來源。

由於每篇文獻所涵蓋的樹種可能超過一種，或同篇資料中，雖為相同樹種但有多筆不同齡級的林分，所以資料筆數會超過文獻數目，依樹種的不同將其歸類為人工針葉樹林、闊葉樹林、竹林，其筆數分別為67、29、35筆。針葉樹人工林以紅檜 (22筆)、臺灣杉 (18筆)、肖楠 (14筆)、柳杉 (9筆) 佔多數；闊葉樹

人工林以光臘樹 (17筆) 佔多數；竹類人工林則以孟宗竹 (19筆)、桂竹 (10筆) 佔多數。

(二) 研究方法
有關本研究之流程，如圖1所示。

表1. 本研究所蒐集文獻資料來源

Table 1. The data resource of the present study.

森林類型	本研究所引用之文獻
針葉樹	劉慎孝、楊寶霖 (1952)、劉慎孝、洪良斌 (1960)、洪良斌、羅卓振南 (1980)、張峻德 (1986)、馮豐隆、羅紹麟 (1986)、劉宣誠、吳萬益 (1986)、陳俊文、張峻德 (1993)、陳麗琴等 (1997)、李國忠等 (2000)、林國銓等 (2003；2004)、謝漢欽等 (2003)、顏添明 (2004；2008)、顏添明、黃凱洛 (2006)、林世宗等 (2008)、王亞男等 (2009；2010；2011)、沈介文等 (2009)、劉素玲等 (2009)、劉興旺等 (2009)、Yen <i>et al.</i> (2009)、汪大雄等 (2010)、衛強等 (2010)、杜清澤等 (2011)、邱志明等 (2011)
闊葉樹	黃溪旺 (1947)、洪良斌、羅卓振南 (1979)、林國銓 (1980)、林國銓等 (2006；2007；2009；2010)、李宜德、馮豐隆 (2008；2010)、江博能等 (2010)、黃裕星等 (2010)、廖宜緯等 (2011)
竹林	劉宣誠、任憶安 (1971)、劉宣誠等 (1972a；1972b)、劉宣誠 (1974)、王子定 (1980)、王子定、高毓斌 (1980)、高毓斌、張添榮 (1989)、高毓斌 (1991)、呂錦明、陳財輝 (1992)、杜大治等 (2003)、王義仲 (2004)、林信輝等 (2007)、王仁等 (2009；2010)、陳財輝等 (2009、2011a；2011b)、鍾欣芸等 (2010)、孫百寬等 (2013)

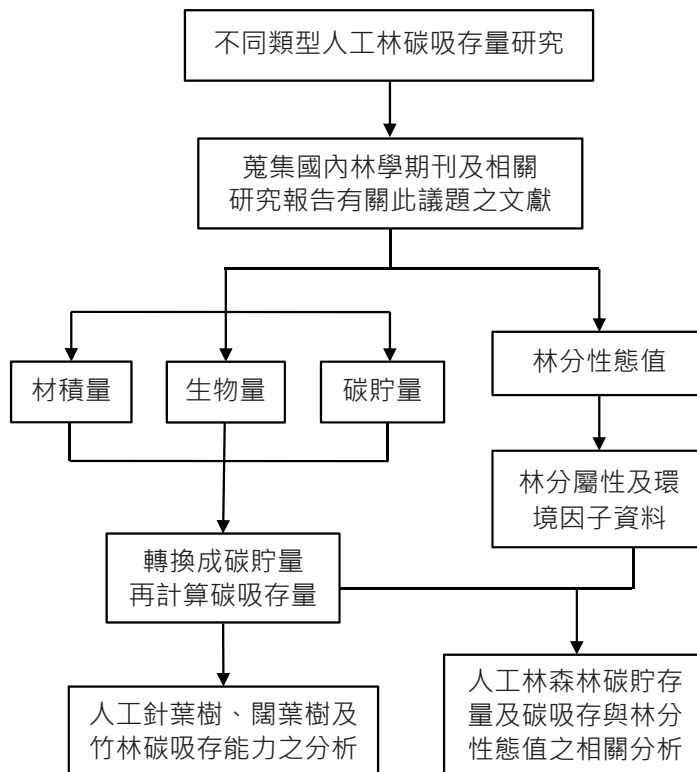


圖1. 本研究流之流程圖

Fig. 1. The flow chart of this study.

本研究之目的在探討人工針葉樹林、闊葉樹林及竹林的碳吸存能力，經蒐集國內林學期刊及相關研究報告有關人工林之蓄積量、生物量及碳貯存量等三類資料，前二類資料必須先換算為碳貯存量，因此，若蒐集所得文獻之資料型態為蓄積量，須先將其轉換為生物量，之後再將其轉換為碳貯存量；如資料型態為森林生物量，則將其轉換為碳貯存量；如文獻資料本身型態即為森林的碳貯存量，則直接引用碳貯存量的數據。換言之，不論蒐集文獻所得之資料為森林的材積量、生物量或碳貯存量，皆要將其先轉換為碳貯存量。

有關材積量轉換為生物量的方式可藉由材積量乘上樹種之絕乾比重換算；而生物量轉換為碳貯存量的方式，則須以生物量乘上樹種之碳含量百分比 (percent carbon content, PCC) 來計算。由於臺灣重要樹種之絕乾比重及PCC在以往大多已建立完成，本研究直引用林裕仁等 (2002) 所建立不同樹種之絕乾比重及PCC為基礎進行轉換，如所研究樹種之PCC未能於過去所發表的資料查獲者，則採用50%為基準。

本研究將所蒐集資料依樹種區分，即針對文獻蒐集所得之樹種進行碳貯量的分析，由於碳貯量是森林吸存碳量的總合概念，類似森林蓄積量 (總生長量)，雖可得知其整體的總量，但無法瞭解其吸存的速率，因此須將其轉換為碳吸存量 (carbon sequestration)。碳吸存量為森林吸存碳的速率，可採用每年或整體平均或定期的方式計算，如同森林生長之連年生長、平均生長及定期生長 (Yen and Wang, 2013)，本研究考量基本資料型態，碳吸存的計算採用平均生長的概念計算，即將碳貯存量除以林齡，以獲得每年碳吸存量。其中竹類的碳貯存量較為特殊，其和伐採收穫模式有關，一般正常經營的竹林 (以每年擇伐林分株數五分之一計算)，其碳吸存量約為碳貯量的五分之一，即以林分的碳貯存量除以5，可計算獲得碳吸存量 (Yen *et al.*, 2010;

Yen and Lee, 2011)。

本研究將各篇文獻所獲得之樹種，依上述方式計算碳貯存量及碳吸存量，並整理各文獻中所列不同樹種之林分性態值 (stand characteristics)，包括平均胸高直徑、平均樹高、林分密度、林齡、海拔高度、年均溫、年降雨量、年降雨量為基本資料。其中竹林為一年生至多年生的竹子所構成，為異齡林之林分結構 (Yen, 2015)，所以在竹林之分析不將林齡列入。

有關本研究之主要分析內容茲分述如下。

1. 敘述統計

就各篇文獻所獲之資料，依針葉樹、闊葉樹、竹類整理為三類，計算碳貯存量及碳吸存量。並就碳貯存量、碳吸存量和林分性態值 (平均胸高直徑、平均樹高、林分密度、林齡、海拔高度、年均溫、年降雨量)，以平均值和標準差的方式表示，以瞭解基本資料的分佈狀態。

2. Pearson相關分析

根據上列資料之結構，分為針葉樹、闊葉樹、竹類，並分別就此三類人工林之碳貯存量和碳吸存量和林分性態值進行Pearson相關分析，以瞭解其關連性。

3. 不同類型森林碳吸存量比較

有關不同類別森林碳吸存量比較，以變方分析 (analysis of variance, ANOVA) 探討針葉樹、闊葉樹、竹類之碳吸存量的差異，如差異達顯著 ($p < 0.05$)，再以最小顯著差異法 (the least significant difference, LSD) 進行三者之碳吸存量比較。

三、結果與討論

(一) 碳貯存量、碳吸存量及林分性態值

經將蒐集文獻所得之資料，將其區分為人工針葉樹林、闊葉樹林及竹林，其碳貯存量及轉換為碳吸存量之結果，如表2所示。

由表2可知，碳貯存量以針葉樹林較高 ($83.61 \pm 42.42 \text{ Mg ha}^{-1}$)，但碳吸存量則以竹林較大 ($5.47 \pm 3.84 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)。由於影響此二者的因素很多，因此須進一步進行分析。

此外，就各森林類型的林分性態值進行彙整，所得之結果如表3所示。其中針葉樹林之平均胸高直徑 ($26.54 \pm 11.49 \text{ cm}$)、平均樹高 ($16.50 \pm 4.97 \text{ m}$)、林齡 ($35 \pm 22 \text{ yr}$) 等性態值較其他二者大，由於竹林為異齡林之林分結構，所以不列年齡，又竹林之胸徑較針、闊葉樹林為

小，因此在林分密度上也較針、闊葉樹林高出許多；在海拔高度分布上，以針葉樹較高，竹林次之，闊葉樹林較低，由於本研究有大部份的闊葉樹資料係蒐集自於近年來政府所推行之平地造林計畫的相關文獻，所以在海拔高度分布也相對較低，此和臺灣地區實際人工林之分佈可能並不完全一致。另外，由表2及表3也發現不論碳貯存量、碳吸存量或林分性態值，在各類型森林皆有較大的標準差，主要是資料蒐集的對象來自全臺各地，因此具較大差異性。

表2. 人工針葉樹林、闊葉樹林及竹林之碳貯存量及碳吸存量

Table 2. The carbon storage and carbon sequestration for coniferous, broadleaf and bamboo plantations.

項目	針葉樹林 (n=67)	闊葉樹林 (n=29)	竹林 (n=35)
碳貯存量(Mg ha^{-1})	$83.61 \pm 42.42^{1)}$	33.87 ± 28.91	27.36 ± 19.21
碳吸存量($\text{Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)	2.69 ± 1.04	2.20 ± 1.07	5.47 ± 3.84

¹⁾ 平均值±標準差

表3. 人工針葉樹林、闊葉樹林及竹林之林分性態值

Table 3. The stand characteristics for coniferous, broadleaf and bamboo plantations.

林分性態值	針葉樹林 (n=67)	闊葉樹林 (n=29)	竹林 (n=35)
平均胸高直徑 (cm)	$26.54 \pm 11.49^{1)}$	11.24 ± 6.24	7.14 ± 4.90
平均樹高 (m)	16.50 ± 4.97	10.46 ± 3.80	9.65 ± 3.09
林分密度 (trees ha^{-1})	984 ± 502	1877 ± 907	9897 ± 5825
林齡 (years)	35 ± 22	14 ± 9	-
海拔高 (m)	1271 ± 390	385 ± 289	777 ± 350
年均溫 ($^{\circ}\text{C}$)	19.10 ± 2.31	22.34 ± 2.06	20.15 ± 2.65
年降雨量 (mm)	2638 ± 542	2904 ± 858	2764 ± 573

¹⁾ 平均值±標準差

(二) Pearson相關分析

本研究之資料來源雖來自不同地區，但藉由林分之碳貯存量及碳吸存量與林分性態值之相關性分析，可瞭解不同森林類型之碳貯存量及碳吸存量的特性，茲分別以針葉樹林、闊

葉樹林及竹林之碳貯存量及碳吸存量與林分相關性態值進行相關分析，所得之結果如表4所示。此外，也於表4中列出碳貯存量和碳吸存量彼此的相關性。

表4. 人工針葉樹林、闊葉樹林及竹林之碳貯存量及碳吸存量與林分性態值之相關分析

Table 4. The correlation analysis between carbon storage and other stand characteristics; and carbon sequestration and other stand characteristics for coniferous, broadleaf and bamboo plantations.

林分性態值	針葉樹林 (n=67)		闊葉樹林 (n=29)		竹林 (n=35)	
	碳貯存量 (Mg ha ⁻¹)	碳吸存量 (Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	碳貯存量 (Mg ha ⁻¹)	碳吸存量 (Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	碳貯量 (Mg ha ⁻¹)	碳吸存量 (Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)
平均胸高直徑 (cm)	0.682***¹⁾	-0.235	0.858**	0.296	0.294	0.294
平均樹(稈)高 (m)	0.752***	-0.213	0.828***	0.690***	0.524**	0.524**
林分密度 (trees ha ⁻¹)	-0.238	0.547***	-0.137	0.443*	0.06	0.06
林齡 (years)	0.733***	-0.449***	0.919***	0.283	-	-
海拔高 (m)	-0.010	-0.100	0.620**	0.469*	0.421*	0.421*
年均溫 (°C)	0.010	0.179	-0.517**	-0.490**	-0.557**	-0.557**
年降雨量 (mm)	0.020	-0.120	0.125	0.645***	0.659***	0.659***
碳貯量 (Mg ha ⁻¹)	1	0.177	1	0.594**	1	1.000***
碳吸存量 (Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	0.177	1	0.594**	1	1.000***	1

註：*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$

針葉樹林之碳貯存量和平均胸徑、平均樹高及林齡呈顯著之正相關；碳吸存量和林分密度呈顯著之正相關但和林齡呈顯著之負相關；而碳貯存量和碳吸存量在針葉樹林中無顯著的相關性。闊葉樹林之碳貯存量和平均胸徑、平均樹高、林齡及海拔高呈顯著之正相關，但與年均溫呈顯著之負相關；而碳吸存量和平均樹高、林分密度、海拔高及年降雨量呈顯著之正相關，但與年均溫呈顯著之負相關；而碳貯存量和碳吸存量在闊葉樹林中呈顯著的正相關。竹林之碳貯存量和平均樹高、海拔高及年降雨量呈顯著之正相關，但與年均溫呈顯著之負相關；碳吸存量的相關因子皆和碳貯存量相同；而碳貯存量和碳吸存量在竹類中呈顯著的正相關，且相關係數高達1，主要是因為竹類的碳吸存量直接由碳貯存量推導，即碳吸存量為碳貯存量的五分之一，所以此二者的相關係數高達1，且二者和其他林分性態值的相關係數也呈現完全相同。

由於本研究分析的資料來自於前人所發表之文獻，並非經研究設計的試驗結果，由相關分析的結果，仍有部份可做為趨勢性的參考，但不宜作過度性的推論。然有些結果和生長收穫的理論並不完全一致，如林木之收穫量隨著林齡、林分密度的增加而增加 (Clutter *et al.*, 1983)，本研究在碳貯存量的結果發現，不論針、闊葉樹人工林，碳貯存量皆隨林齡的增加而加，由於竹類為異齡林的結構，所以未將林齡納入相關分析。但針、闊葉樹林的碳貯存量卻和林分密度的相關性未達顯著。此外，碳吸存量在三類森林的變化趨勢並不一致，在針葉樹林和林齡呈顯著負相關，但在闊葉樹林則無此現象。經分析三類森林碳貯存量與碳吸存量的相關性結果，針葉樹此二者不具顯著的相關性，其餘兩類森林皆具有顯著的正相關。

(三) 不同類別森林類型碳吸存量比較

有關人工針葉樹林、闊葉樹林及竹林碳吸存量比較，經ANOVA結果顯示其差異性達顯

著 (F 值=45.873, $p < 0.001$), 表示此三類森林之碳吸存量存在差異性, 再以LSD法進行三者之差異性分析, 所得之結果以圖2表示。由研究結果發現竹林之碳吸存量 ($5.47 \pm 3.84 \text{ Mg ha}^{-1}$

yr^{-1}) 為最高, 且明顯高於針葉樹林 ($2.69 \pm 1.04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) 和闊葉樹林 ($2.20 \pm 1.07 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), 但針葉樹林和闊葉樹林之碳吸存量彼此之間則無顯著的差異。

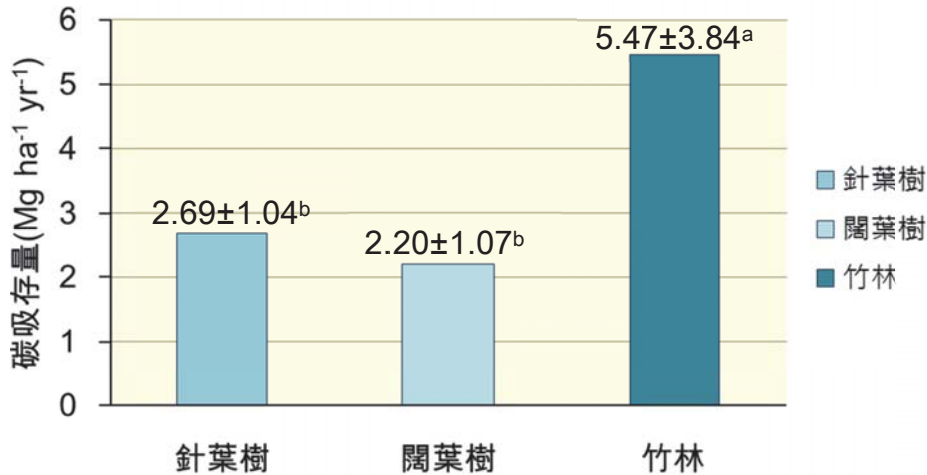


圖2. 以最小顯著差異法差異量法比較不同人工林類型之碳吸存量 (上標之英文字母相同, 表示 $\alpha = 0.05$ 的顯著水準下差異不顯著)

Fig. 2. Comparisons of the carbon sequestration among different plantation types using the least significant difference method.

四、結論與建議

本研究以臺灣地區人工林為研究對象, 蒐集過去所發表不同樹種之蓄積量、生物量、碳量等相關文獻, 將其分為人工針葉樹林、闊葉樹林、竹林, 並藉由相關轉換係數將其轉換為碳吸存量, 經分析森林碳吸存量及相關林分性態值之關係, 再進而比較碳吸存量在不同種類人工林的差異, 所得結論如下:

有關林分性態值之分布, 針葉樹林之平均胸高直徑、平均樹高較闊葉林及竹林為高; 林齡則針葉樹林較闊葉樹林為大, 由於竹類為異齡林, 所以林齡不列入分析; 在海拔高度分布上, 以針葉樹林較高, 竹林次之, 闊葉樹林較低, 此和臺灣地區實際人工林之分佈並不完全一致, 主要由於闊葉樹林所蒐集的文獻有許多是來自於近年政府所推行之平地造林計畫, 所以在海拔高度分布也相對較低。此外, 三種不

同類型之碳貯存量、碳吸存量及其他林分性態值具有較大的標準差, 主要是資料蒐集的對象來自全臺各地大範圍之資料, 且所歸納之森林類型具不同樹種, 因此變異量較大。

不同森林類型之碳貯存量及碳吸存量和和其他林分性態值的相關分析可瞭解碳貯存量及碳吸存量的特性, 由於本研究分析的資料來自於前人所發表之文獻, 並非經研究設計的試驗結果, 所以相關分析的結果, 可做為趨勢性的參考, 但不宜作過度性的推論。

有關針葉樹、闊葉樹、竹類人工林之碳吸存量比較, 經分析結果發現竹林之碳吸存量为最高, 且明顯高於針葉樹和闊葉樹, 但針葉樹和闊葉樹在碳吸存上則無顯著的差異。

在研究限制上, 本研究雖蒐集國內重要林學相關期刊所發表之文獻, 探討人工林碳吸存能力, 但有些臺灣地區人工林研究的文獻發表

於國外之國際期刊，但本研究並未納入分析，未來如要研究較為完整之資料，這些資料亦宜列入分析，以期獲得較為完整的結果。

五、引用文獻

- 王子定 (1980) 孟宗竹地上部生物量之積聚與分佈-淨初生產量測定模式之導出。國立臺灣大學農學院實驗林研究報告 125: 1-28。
- 王子定、高毓斌 (1980) 孟宗竹地上部生物量之測定。臺大農學院研究報告 20(1): 54-59。
- 王仁、陳財輝、張華洲、鍾欣芸、李宗宜、劉瓊霏 (2009) 惠蓀林場與石樟孟宗竹林分結構及地上部生物量和碳儲存量。林業研究季刊 31(4): 17-26。
- 王仁、陳財輝、陳信佑、鍾欣芸、劉恩好、李宗宜、劉瓊霏 (2010) 孟宗竹林伐採後兩年間地上部生物量與碳吸存量動態。林業研究季刊 32(3): 35-44。
- 王亞男、周宏祈、王介鼎、陳秋萍 (2010) 溪頭三叉崙柳杉生長量及碳貯存效益之研究。國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 24(2): 157-167。
- 王亞男、林金樹、馬曉恩、蔡明哲 (2011) 溪頭試驗地柳杉人工林材積生長的長期變化。國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 25(1): 67-80。
- 王亞男、蔡明哲、劉啓福、鄭景鵬 (2009) 不同林分密度臺灣杉人工林下層疏伐對其生長之影響。國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 23(4): 295-307。
- 王義仲 (2004) 麻竹稈之生物量與碳蓄積量推估。林產工業 23(1): 13-22。
- 江博能、王亞男、梁治文 (2010) 臺灣中部地區光臘樹人工林生長量與碳存量之研究。國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 24(3): 185-194。
- 呂錦明、陳財輝 (1992) 桂竹之林分構造及生物量-桶頭桂竹林分之例。林業試驗所研究報告季刊 7(1): 1-13。
- 李宣德、馮豐隆 (2008) 森林碳吸存資源調查推估模式系統一以台灣樟樹為例。臺灣林業科學 23 (Supplement): S11-22。
- 李宣德、馮豐隆 (2010) 臺灣地區樟樹生物量擴展係數之建立。林業研究季刊 32(3): 45-54。
- 李國忠、林俊成、陳麗琴 (2000) 臺灣杉人工林碳吸存潛力及其成本效益分析。臺灣林業科學 15(1): 115-123。
- 杜大治、王亞男、蕭英倫 (2003) 孟宗竹在不同冠層位置二氧化碳固定效益。國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 17(3): 187-194。
- 杜清澤、邱志明、林國銓 (2011) 人倫地區柳杉人工林地上部與地下部生物量之估算。中華林學季刊 44(3): 401-412。
- 汪大雄、謝漢欽、湯適謙、鍾智昕 (2010) 六龜地區臺灣杉人工林林分生長模擬之研究。臺灣林業科學 25(2): 155-169。
- 沈介文、江博能、梁治文、王亞男 (2009) 金剛鑽柳杉地上部生物量與碳存量估算。國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 23(3): 255-266。
- 林世宗、鍾智昕、邱祈榮、林朝欽 (2008) 臺灣二葉松地上部生物量及碳吸存量之估算。中華林學季刊 41(4): 521-535。
- 林信輝、賴俊帆、陳耀榮 (2007) 桂竹林崩塌地根系型態與其後續崩塌之調查研究。水土保持學報 39(2): 173-187。
- 林國銓 (1980) 山黃麻生物量及養分含量之研究。中華林學季刊 13 (2): 77-86。
- 林國銓、王巧萍、黃菊美、洪富文、邱志明 (2003) 六龜試驗林兩臺灣杉人工林生物量和碳儲存量之估算。臺灣林業科學 18(2): 85-94。
- 林國銓、杜清澤、徐嘉君、黃菊美 (2006) 六龜試驗林亞熱帶天然闊葉林地上部碳貯存量之估算。國立臺灣大學生物資源暨農學院

- 實驗林研究報告 20(3): 153-164。
- 林國銓、杜清澤、黃菊美 (2007) 苗栗地區相思樹和木油桐人工林碳和氮累積量及生產量之估算。中華林學季刊 40(2): 201-218。
- 林國銓、杜清澤、黃菊美 (2009) 臺東地區相思樹與楓香兩人工林碳累積量。林業研究季刊 31(3): 55-68。
- 林國銓、杜清澤、黃菊美 (2010) 光臘樹人工林碳貯存量和吸存量之估算。中華林學季刊 43(2): 261-276。
- 林國銓、黃菊美、王巧萍、張乃航 (2004) 六龜台灣杉人工林碳和氮的累積和分布。臺灣林業科學 19(3): 225-235。
- 林裕仁、劉瓊霖、林俊成 (2002) 臺灣地區主要用材比重與碳含量測定。臺灣林業科學 17(3): 291-299。
- 邱志明、唐盛林、鍾智昕、林振榮 (2011) 紅檜人工林生物量和不同疏伐策略對二氧化碳吸存之效應。中華林學季刊 44(3): 385-400。
- 洪良斌、羅卓振南 (1979) 光臘樹人工林疏伐效果之研究。林業試驗所試驗報告第324號。
- 洪良斌、羅卓振南 (1980) 蓮華池林區肖楠造林木生長之研究。林業試驗所試驗報告第342號。
- 孫百寬、陳涓婷、顏添明、李隆恩 (2013) 臺灣中部地區孟宗竹林不同經營強度林分性態值、地上部生物量及碳貯存量之比較。林業研究季刊 35(1): 23-32。
- 高毓斌 (1991) 巨竹與馬來麻竹物質生產之比較研究。林業試驗所研究報告季刊 6(3): 249-282。
- 高毓斌、張添榮 (1989) 馬來麻竹人工林之生長與生物量生產。林業試驗所研究報告季刊 4(1): 31-42。
- 張峻德 (1986) 台灣中北部柳杉林分之生物量生產力。中華林學季刊 19(4): 45-85。
- 陳俊文、張峻德 (1993) 大雪山地區紅檜人工林地上部生物量與養分累積。中華林學季刊 26(4): 35-48。
- 陳財輝、劉瓊霖、鐘欣芸 (2011a) 南投縣鳳凰山孟宗竹產筍林分之生長與生物量。中華林學季刊 44(1): 19-28。
- 陳財輝、鍾欣芸、汪大雄、王經文 (2011b) 包籜矢竹之生長、生物量及竹筍生產。中華林學季刊 44(2): 183-192。
- 陳財輝、鍾欣芸、汪大雄、林信輝 (2009) 石門水庫集水區桂竹林之生長及生物量。中華林學季刊 42(4): 519-527。
- 陳麗琴、黃進睦、林俊秀、邱祈榮 (1997) 六龜試驗林臺灣杉人工林蓄積量及生長估測之研究。臺灣林業科學 12(3): 319-327。
- 馮豐隆、羅紹麟 (1986) 臺灣二葉松人工林生長與收穫之研究。中華林學季刊 19(2): 17-31。
- 黃溪旺 (1947) 相思樹人工播種林間伐時林分構成狀態之統計研究。林業試驗所試驗報告第14號。
- 黃裕星 (2011) 臺灣竹類資源調查、利用及新技術開發。林業研究專訊 18(1): 1-2。
- 黃裕星、鍾智昕、邱志明、林振榮 (2010) 七年生櫟木、苦楝、光臘樹在平地造林的林木樹輪特徵研究。中華林學季刊 43(2): 201-212。
- 廖宜緯、陳美光、陳羽康、鐘玉龍、吳守從 (2011) 臺糖公司屏東縣平地造林碳貯存量調查。中華林學季刊 44(3): 373-384。
- 劉宣誠 (1974) 臺灣主要竹林生育地與生長之研究 (四) - 孟宗竹。林業試驗所試驗報告第243號。
- 劉宣誠、任憶安 (1971) 臺灣主要竹林生育地與生長之研究 (一) - 桂竹。林業試驗所試驗報告第212號。
- 劉宣誠、任憶安、柯承吉 (1972a) 臺灣主要竹林生育地與生長之研究 (三) - 麻竹。林業試驗所試驗報告第230號。
- 劉宣誠、任憶安、葉天薰、柯承吉 (1972b) 臺

- 灣主要竹林生育地與生長之研究(二)－孟宗竹。林業試驗所試驗報告第222號。
- 劉宣誠、吳萬益(1986) 蓮華池地區肖楠造林林之生長與材質之研究。林業試驗所試驗報告第463號。
- 劉素玲、王亞男、陳德仁、鄭景鵬(2009) 溪頭門田柳杉生長量及二氧化碳貯存量效益之研究。國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 23(3): 189-200。
- 劉慎孝、洪良斌(1960) 肖楠木林疏伐方式之研究。林業試驗所試驗報告第66號。18頁。
- 劉慎孝、楊寶霖(1952) 恆春四種引種樹種之生長研究。林業試驗所報告第30號。
- 劉業經、呂福原、歐辰雄(1994) 臺灣樹木誌。925頁。
- 劉興旺、鍾立展、王亞男、陳和田、鄭景鵬(2009) 臺灣中部地區臺灣杉人工林之生長量與碳吸存量之研究。國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 23(3): 201-212。
- 衛強、王亞男、蔡明哲、鄭景鵬(2010) 臺大實驗林溪頭營林區西川試驗地柳杉生長量之研究。國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 24(3): 169-183。
- 謝漢欽、汪大雄、林俊成(2003) 應用地理資訊系統估算六龜試驗林森林蓄積變動之二氧化碳吸存效應。臺灣林業科學 18(3): 171-182。
- 鍾欣芸、劉瓊霏、陳財輝(2010) 不同伐採強度對蓮華池桂竹林生長與生物量的影響。中華林學季刊 43(2): 223-231。
- 顏添明、李久先、黃凱洛(2008) 臺灣中部地區紅檜及柳杉人工林疏伐示範區生長收穫模式建立之研究。林業研究季刊 30(3): 31-40。
- 顏添明、李久先、黃凱洛、劉兆昌(2004) 杉木人工林成熟林分林木生長及生物量之探討。中華林學季刊 37(2): 157-168。
- 顏添明、黃凱洛(2006) 杉木地上部碳儲存量之推估。臺灣林業科學 21(2): 273-280。
- Clutter, J. L., Fortson J.C., Pienaar, L.V., Brister, G. H., & Bailey, R. L. (1983). Timber management: a quantitative approach. John Wiley & Sons, Inc. 333 p.
- Lin, Y. J. (2011). Review, current status, and prospects of the bamboo industry in Taiwan. Taiwan Journal of Forest Science 26(1): 99-111.
- Yen, T. M. (2015). Comparing aboveground structure and aboveground carbon storage of 411 an age series of moso bamboo forests subjected to different management strategies. 412 Journal of Forest Research 20: 1-8.
- Yen T. M., & Wang, C. T. (2013). Assessing carbon storage and sequestration for natural forests, man-made forests, and bamboo forests in Taiwan. International Journal of Sustainable Development & World Ecology 20(5): 455-460.
- Yen, T. M., & Lee, J. S. (2011). Comparing aboveground carbon sequestration between moso bamboo (*Phyllostachys heterocyla*) and China fir (*Cunninghamia lanceolata*) forests based on the allometric model. Forest Ecology and Management 261: 995-1002.
- Yen, T. M., Ai, L. M., Li, C. L., Lee, J. S., & Huang, K. L. (2009). Aboveground carbon contents and storage of three major Taiwanese conifer species. Taiwan Journal of Forest Science 24: 91-102.
- Yen, T. M., Ji, Y. J., & Lee, J. S. (2010). Estimating biomass production and carbon storage for a fast-growing makino bamboo (*Phyllostachys makinoi*) plant based on the diameter distribution model. Forest Ecology and Management 260: 339-344.