

造林獎勵與碳吸存補貼對台灣農林部門 社會福利之影響

李恒綺*、吳珮瑛**、沈芝貝***、劉哲良****

本研究是考量台灣林地特殊的所有權屬，考慮森林具有的公私效益，及其與農作物互競之關係，建構一個平衡農林部門土地利用之概念架構，並納入造林面積與競租作物價格，同時考量時間和折現的動態林木長期生長及造林獎勵政策之決策模型。比較有無造林獎勵政策，再加上不同碳吸存補貼水準之政策組合，對農林部門社會福利的影響。

結果顯示，從無造林獎勵政策到有造林獎勵政策，農林部門社會福利增加 8 億多元，若再加上每公噸 100 至 1,200 元不等之碳吸存補貼，則相對於完全無任何獎勵及補貼政策時，社會福利又更增加約 8~10 億元不等。而在已有造林獎勵金之前提下，碳吸存補貼使得農林部門之社會福利由每公噸 100 元的 1 千萬逐步遞增至每公噸 1,200 元的 1 億 4 千萬，此乃表示在目前所選擇的碳吸存補貼範圍內，碳吸存補貼對農林部門之社會福利的增加仍在遞增的階段。此外，加入碳吸存做為補貼之手段，且在每公噸碳稅大於 100 元時，林農將延長其砍伐年限，延長的年限同樣隨著補貼金額的上升而延後更長。

關鍵詞：造林獎勵政策、正外部效益、數學規劃、農林部門模型、競租作物、政策模擬

* 國立高雄第一科技大學運籌管理學系助理教授。

** 國立台灣大學農業經濟學系教授。本文之通訊作者。

*** 行政院主計處四局一科研究員。

**** 國立台灣大學農業經濟學系博士班候選人。

本文為行政院國家科學委員會補助之研究計畫 NSC95-2415-H-317-002 的一部分，特此致謝。

I、前言

自 1979 年第一次世界氣候會議 (World Climate Conference, 以下簡稱 WCC) 首先承認全球因人類活動所造成氣候變遷問題的嚴重性後, 爲了有系統地評估全球暖化對地球所造成的影響, 聯合國於 1988 年 11 月成立了跨政府氣候變遷委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 以下簡稱 IPCC), 且爲了力促世界各國共同減緩全球暖化現象, 於 1992 年通過聯合國氣候變化綱要公約 (United Nations Framework Convention on Climate Change, 以下簡稱 UNFCCC)。UNFCCC 進而在 1997 年舉行的第三次氣候變化綱要公約締約國大會中通過京都議定書, 以明確規範各國溫室氣體排放之減量目標。

京都議定書的通過使得溫室氣體減量之目標具體化, 也因此限制了各國二氧化碳 (Carbon Dioxide, 以下簡稱 CO₂) 的排放量。而台灣 2005 年之 CO₂ 總排放量已高達約 2.6 億噸, 佔全世界的 1%, 居全球第 22 名, 然台灣雖非京都議定書之締約國, 但若國際透過經濟制裁或出口綠色標章等方式來強制各國進行 CO₂ 減量, 對以貿易爲主的台灣將造成重大的影響。爲降低 CO₂ 的排放量, 可透過調整產業結構及能源結構著手, 將高耗能或高 CO₂ 排放的產業移轉爲低耗能、低污染、高附加價值的產業, 並積極增加能源使用效率, 抑制能源消耗。但從此方面來達成 CO₂ 減量之目的, 減量成本是較高的, 可能對國家整體經濟產生較大的衝擊, 甚至會降低國民所得 (Nabuurs *et al.*, 2007)。

爲減緩如此之衝擊, 同時考量環境之適應, 亦可藉由加強造林與促進森林永續發展之經營管理策略來增加 CO₂ 的吸存。因爲京都議定書也通過凡 1990 年以後所進行之造林 (Afforestation)、再造林 (Reforestation) 及森林砍伐 (Deforestation) 所吸收或排放的 CO₂ 淨值, 皆可併入溫室氣體排放減量的計算 (Nabuurs *et al.*, 2007), 所以森林資源提供了一個中、短期較產業

和能源結構調整更爲經濟的 CO₂ 吸存機會，森林碳吸存功能更日漸受到重視，相關的研究也逐漸展開。

針對 CO₂ 吸附的量化探索，國內先前文獻大多針對不同樹種、樹齡或地點的林木吸碳能力進行研究，比如金恆鏞（1992）、路統信（1991）、王立志（1996）、楊盛行（1997）、楊榮啓、馮豐隆與黃俊雄（1998）、胡大維（1998）、林俊成、李國忠與林裕仁（1999）、李國忠、林俊成與陳麗琴（2000）、林俊成等（2002）分別評估在不同地點及其他不同的條件下，林木可吸取 CO₂ 的量。而部分研究則以不同方式納入機會成本，量化森林的碳吸存，比如楊增華（1993）、林俊成（1994）及柳婉郁（2004），然這些研究基本上仍未顧及由造林受益及爲造林所付出代價，在不同部門間所造成之整體影響。

而考量部門間整體影響的探討，如 Adams *et al.*（1993）曾結合了農業部門模型（Agricultural Sector Model，以下簡稱 ASM）（註 1）和木材管理市場模型（Timber Assessment Market Model，以下簡稱 TAMM）建立了美國農林部門最適模型（the Forest and Agricultural Sector Optimization Model，以下簡稱 FASOM），透過農林部門對土地相互競爭之關係連結兩部門，建構一個動態、價格內生、非線性規劃、空間均衡市場的農林部門最適模型，此一模型最初用在估算造林政策之碳吸存對消費者剩餘和生產者剩餘所組成之社會福利和市場的影響，後來亦應用在其他大範圍的森林和農業政策的評估上（Alig、Adams & McCarl，1998；Murray、McCarl & Lee，2004；Lee *et al.*，2005；Lee、McCarl & Gillig，2005；Chang，1999），當然亦有不是應用部門模型評估農業及混合農林部門碳吸存的機會成本者，比如 Zelek 與 Shively（2003）之研究。

雖然農林部門模型在國外雖已有相當程度的發展，但在台灣林業的應用卻相對的少。過去陳佳琪（1997）已將林產品加入台灣農業部門模型（Taiwan Agricultural Sector Model，以下簡稱 TASM）中，然僅假設林木每年以固定比率伐採，此與林木非一、兩年即可收穫之特性相違。此外，由於

台灣木材價格長期低迷，在國內木材自給率不到 1%，99%以上得仰賴進口的情況下，私有林農近十年受木材市場價格影響而造林的面積並不多。反倒是台灣於 1991 年起，為避免長期休耕土地資源的浪費，所推出之農地造林政策，和 1996 年在賀伯颱風侵台造成嚴重損害後，為修補山坡地的水土保持和水源涵養等功能，所推動的全民造林政策，以及 2002 年為因應台灣加入 WTO 對農業造成的衝擊，而推出平地景觀造林政策等一系列的造林獎勵政策，誘使了不少土地投入造林。

此外，台灣林木所在地所有權屬多為國公有地，即便是私人在國公有地上的經營，造林的誘因主要也是來自政府長期以來的造林獎勵措施，更遑論私有林，因而其經營型態與國外依市場價格高低而決定造林多寡及砍伐時期的情況大不相同。此外，國公有地每年均有伐採限制和天然林之禁伐令，因此將其與可受木材價格和造林獎勵金額高低自由決定是否造林之私有林地一併處理，實不盡理想。

尤有甚者，目前因為種植農作物之收益遠高於地租收益，所以種植農作物成了農民不造林的另一主要考量，因此在山坡地上，有部分因過去時代背景遺留下來的果樹、茶、高山蔬菜等高經濟價值作物的種植，乃形成宜林地的超限利用。在平地上，農林互競的效果更是明顯。而以競租作物的收益作為機會成本的概念，雖有考慮到農林互競的觀念，但並未完全反應農林部門相互間之影響。因為在競租作物和林木價格不變的假設下，當衡量競租作物與經營林地的收益時，只要競租作物的價格高於林木生產，則林地應會投入競租作物的種植。然而，若愈來愈多林農投入競租作物的生產，競租作物的價格將會下跌，如此反而使得農民愈來愈沒有誘因從事競租作物的生產，而能讓農林部門間達到一個均衡。

雖然社會認定森林具有水土保持與 CO₂ 吸收之共享與不可排他的公共財特質，但林農並無法透過市場機制而取得提供此種公共財的回饋，以致於林農通常缺乏誘因從事造林。所以為提供林農較大的經濟誘因，促使林農真正從事造林工作，政府應將無法透過市場反應的外部性和公益價值補貼給林農，才能

使資源合理配置且有效率之利用（李國忠，1994；汪大雄、鍾旭和、王培蓉，1998；任億安、塗三賢、吳萬益，1998；游繁結，2002；焦國模，1999）。

倘若目前將此公效益聚焦於碳吸存之貢獻，藉由世界對溫室氣體減量的重視，及京都議定書對森林碳吸存效益的承認，則可將森林的碳吸存效益透過補貼的方式回饋給林農，以誘使農民增加造林。可以預期的是，更高的碳吸存補貼價格將吸引更多農民投入造林，如此也使得碳吸存量大增。不過從另一個角度來看，過多的農地用於造林，會使得農作物之生產面積和生產量下降，導致農產品價格高漲，造成消費者剩餘下降，對整體社會福利不見得有利，因此碳吸存補貼價格之高低對農林部門間土地和要素的移轉會產生影響。

有鑑於此，不同於陳佳琪（1997）以農地造林為主且假設林木每年以固定比率伐採之模型，本文所欲建構之模型與美國農林部門模型所包含之造林範圍較類似（Alig、Adams & McCarl，1998），但本研究將考量台灣林地特殊的所有權屬型態，考慮森林具有的公私效益及其與農作物互競關係，建構一個平衡農林部門土地利用之概念架構，同時納入造林之面積與競租作物的價格，並考量時間和折現，建構一個動態的林木長期生長和包含造林獎勵政策在內的農林部門決策模型，並比較有無造林獎勵政策，或加上不同碳吸存補貼之政策組合，對農林部門社會福利的影響。

II、台灣近十年之造林獎勵政策沿革及森林之 碳吸存功能

台灣地勢陡峭、多高山丘陵，在土地面積 3,600,618 公頃中平原面積僅占全國總面積的 26.73%，其餘 27.27% 為山坡地區、46% 為高山地區。且台灣夏季多颱風同時經常夾帶豐沛雨量，往往只要豪雨來襲，就容易造成土石崩落或道路坍方，因此森林的覆蓋對台灣更顯得格外重要。然而 1991 至 1993 年之第三次台灣森林資源及土地利用調查結果顯示，台灣森林面積為

2,102,400 公頃，占全國土地面積的 58.53%。但綠色資源分布嚴重不均，林地之森林覆蓋率高達 93%，山坡地及平地之森林覆蓋率卻僅有 31%。

此外台灣林地所有權屬特殊，多為國公有林地，私有林地比例相對的少。以最新可得的表 1 資料來看，台灣國公有林地面積占全國林地面積 90.25%，私有林地面積僅占全國林地面積 9.75%，且由於『林業統計年報』（行政院農業委員會林務局，1990~2005a）中缺乏非林務局所屬之國有林地面積（例如：林試所與台大、中興實驗林、原住民保留地、森林保育處等國有林地），所以在估算全國林地面積時，並未估算到非林務局所屬之國有林地面積，因此私有林地的實際面積應小於全國林地面積之 9.75%。

表 1 2005 年林地面積——按所有權屬

林地總面積	林務局所屬國有林地		公有林地		私有林地	
	面積 (公頃)	百分比	面積 (公頃)	百分比	面積 (公頃)	百分比
1,767,933.23	1,539,720.76	87.09%	55,819.82	3.16%	172,392.65	9.75%

資料來源：整理自行政院農業委員會林務局，2005a、2005b。

註：林地總面積未包含非林務局所屬之國有林地。

為鼓勵私有林主營林，政府於 1991 年為避免因農地長期休耕所造成的土地資源浪費，且同時希望藉由農地造林達到景觀美化的目的，因而推出農地造林政策；之後又因 1996 年的賀伯颱風對台造成嚴重損害後，為修補山坡地的水土保持和水源涵養等功能，推動全民造林政策，此外，2002 年亦為了因應台灣加入 WTO 對農業造成的衝擊，推出平地景觀造林政策。這一連串的造林獎勵政策，伴隨各式的造林獎勵金，相較於低迷的木材價格，反而對林農和農民有更直接的造林誘因。因此無論是對於國公有林地或私有林地，由政府所主導之造林獎勵政策及獎勵金的高低，是一個觀察台灣造林面積變化不可忽略的因素。

2.1 台灣近年主要造林獎勵政策與檢討

台灣獎勵造林政策已歷行多年，自最早 1951 年所頒布的「台灣省營造保安林獎勵辦法及施行細則」，即有獎勵荒廢保安林地造林。在 1996 年因賀伯颱風的侵襲，對台灣造成重大災害，政府乃發起了全民造林運動，此外農地獎勵造林政策也在全民造林運動實施後，於 1997 年起併入全民造林的計畫中（註 2）。到了 2002 年，政府為疏緩台灣加入 WTO 後因農產品貿易自由化而可能對農業造成之衝擊，因此推出平地景觀造林政策，藉以重新調整農地資源、紓解農產品產銷的失衡，而為增加平原地區綠地面積，是以鼓勵將休耕農地轉而造林，除這些主要的造林獎勵政策外，其間所經歷的其他造林獎勵政策及相關獎勵標準與獎勵金彙整於附表 1。

造林獎勵政策從 1991 年至今，歷經了農地造林、全民造林和平地景觀造林三大造林獎勵政策，為期十多年的時間。就各政策達成率來看，農地造林獎勵政策 1992 年至 1996 年預定達成面積為 7,040 公頃，實際完成面積 6,805 公頃，達成率 96.67%；全民造林政策預定造林面積為 50,060 公頃，實際完成面積 38,898.6 公頃，達成率 77.7%；平地景觀造林政策 2002 年至 2006 年總計造林面積 8,469.77 公頃，達 2007 年年底目標量 15,000 公頃的 56.47%（行政院農業委員會林務局，1990~2005a）。

然而三個獎勵造林政策在各縣市公私有林地實行似乎不甚理想，因為全民造林政策於林務局所屬的國有林地執行率雖高達 479.39%，但縣市政府執行率僅 54.9%（林國慶，2005），而平地景觀造林政策由 2002 年至 2006 年於縣市政府造林面積也僅有 806 公頃。由 1990 年至 2005 年之造林政策（註 3）所誘使的森林覆蓋率之變動來看，僅使公私有林地之有林木地增加了 1,511 公頃，亦即森林覆蓋率增加了 2.43%（行政院農業委員會林務局，1990~2005a），而這些林木在超限土地所種之林木更是有限（林國慶、柳婉郁，2007；施瑩艷，2005）。

這幾個造林獎勵金的訂定，基本上是以造林成本為主要考量，在農地造林部分雖多考慮了農地做為他用之機會成本，但並未考量森林對社會的外部正負效益，因此在木材價格長期低迷的情況下，不論在極需森林之水土保持和涵養水源功能的水庫上游和山坡地，還是對淨化空氣、微氣候調節、景觀美質等功能相對重要的都市林地，林農一般並沒有足夠誘因增加造林面積，以提供這種共享又不可排他之外部效益，致使林地常被違法使用或任其荒廢。此外單以造林成本為主要考量的造林獎勵金，在競租作物價格高漲的誘惑下，亦難誘使在宜林地違法栽種高經濟作物的超限利用土地回復造林。

2.2 森林的公共財特性及超限利用問題

2.2.1 森林碳吸存的公效益

自從 1997 年聯合國氣候變化綱要公約第三次締約國大會制定的京都議定書通過，凡 1990 年以後所進行之造林、再造林及森林砍伐所吸收或排放的 CO₂ 淨值，皆可併入溫室氣體排放減量計算後，森林碳吸存功能即為世界各國所重視。Sedjo (1989) 估計一般人工造林地的碳吸存量發現，每年增長 15 立方公尺的人工造林地，每立方公尺材積約可吸存 0.26 公噸的碳。Akbari (2002) 評估美國洛杉磯市內林木，每株每年可減少 17~40 公斤的 CO₂。Dixon、Winjum 與 Schroeder (1993) 發現熱帶和溫帶地區有著不同的碳吸存量，且在熱帶地區經天然更新的林地每公頃可吸 195 公噸的碳；而在溫帶地區之新植造林每公頃可吸 120 公噸的碳。

此外，胡大維 (1998) 研究發現對一般新植速生樹種之造林地正常管理時，每公頃林地平均每年可吸存 14.3 公噸的 CO₂。林俊成、李國忠與林裕仁 (1999) 估算林齡為 7~81 年生柳杉人工林每公頃可吸 591.21 公噸的 CO₂。此外，李國忠、林俊成與陳麗琴 (2000) 以六龜試驗林 10 處台灣杉造林處，推估台灣杉人工林平均每公頃碳吸存量為 76.8 公噸。林俊成等

(2002) 透過生長模式來預測未來的生長量，評估全民造林運動推行 20 年後，可累積吸存約 458.06 萬公噸的 CO₂。然這些研究有些是侷限在特定樹種、特定地點或是特定年限下的結果，因而有相當懸殊的差異，相對理想的作法應是可取得可以模擬台灣在各地普遍栽種的樹種於不同的年份上的碳吸存量之一般公式 (柳中明、林俊成、劉銘龍，2007)。

2.2.2 林地的超限利用問題

森林所具有的前述公效益價值並無法透過市場機制回饋給林農，以致林農往往缺乏誘因經營這種具公共特質的造林活動。如此則使得原可以保水蓄水、育土護土的森林，被溫帶水果、茶葉及高山蔬菜等高經濟價值的淺根作物所取代。在競租作物價格高昂和木材價格長期低迷的情況下，農民為了生計，往往選擇在宜林地上種植具負外部性的作物，如此使得超限利用佔私人經營面積的林地面積相當的比例 (柳婉郁，2004)。

台灣由私人經營的林地除了前述所有權屬為私有林地外，尚包括原住民保留地中的宜林地、縣市政府代管之林班解除地以及國公有租地造林地等，因此由私人經營的面積約佔全國林地總面積的 25% (羅紹麟、羅凱安，1996)，如果將此四種地目之土地面積更新為最新統計年報上的資料，依此算出的私人經營之林地面積佔林地總面積則約為 20% 左右，如表 2 所示，這些經營者認為種植果樹遠較造林有利 (羅紹麟、林喻東，1981)。此外，雖然不當土地利用所造成的危害亦多有記載 (陳天健等，2001；李錫堤，1996；陳樹群、巫仲明，2002；陳信雄，1999；任憶安、林俊成，1997)，但這些在私有林地上經營的林農普遍亦不認為水土保持、防洪和森林遊樂等功能較木材生產重要 (汪大雄、鍾旭、王培蓉，1998)。可見長期以來民眾和政府對森林的價值認知與私有林農之經營目標仍有著極大的分歧。

表 2 私人經營之林地面積

林地總面積	百分比	國有林租地 造林地		縣市政府代管 國有原野地或 林班解除地		原住民保留地		私有林地	
		面積 (公頃)	百分比 (%)	面積 (公頃)	百分比 (%)	面積 (公頃)	百分比 (%)	面積 (公頃)	百分比 (%)
2,102,400	24.45	87,516	4.16	61,231	2.91	178,659	8.50	186,624	8.88
2,102,400	20.41	81,748	4.62	4,429	0.25	170,594	9.65	172,393	9.75

資料來源：第一列的所有資料來自羅紹麟與羅凱安（1996），第二列的四種私人經營地目之資料來自行政院農業委員會林務局（2005a、2005b、2005c）、行政院原住民委員會 2005 年內部統計資料、行政院主計處（2005），而林地總面積則同為第一列的資料來源。

然而，即使如前述文獻般將森林之碳吸存潛力算出，仍無法經由這些以公噸表示的吸存或排放的量化結果，確知碳吸附或是在林地上的不同生產活動，對區域或是一個國家整體社會福利變化的大小，因而尋求可以轉換成以貨幣表示的量化方式，乃成爲達成此一目標的必要的工作。

III、平衡農林部門土地利用之概念架構

爲觀察農林部門社會福利隨著不同政策組合的變化情形，本節先透過經濟概念探討森林無法透過市場反應之公效益的價值內涵，討論同時考量森林之市場和非市場價值時，社會最適的造林面積和最適造林獎勵金，並探討過去農地造林、全民造林與平地景觀造林三大造林政策之造林獎勵金對臺灣造林的影響，以及農民參與造林獎勵政策的決策考量。希望立基在森林具有的公私效益基礎及其與農作物互競爲出發點上，建構一個平衡農林部門的社會福利概念架構。

但對森林之公效益而言，考慮森林面積大小還需伴隨考量森林面積之分布情形才具意義，例如一個十公頃的森林和十個分布於不同地區的一公頃森林所帶來的公效益應該是不同的。然而對於空間分佈上如此細膩的資料和操作上所可能產生的困難，不是現階段擬解決之問題，同時本研究現階段是將森林所具有的公效益集中於所具有的碳吸存功能與效益上，因而，此時森林所提供之公效益受森林面積大小之影響，基本上更甚於空間的分佈。

在假定民眾對森林的邊際效益不隨森林面積擴大而增加之情況下，社會對森林的需求為 D_1^f ，此時供需最適均衡點在 N' ，且社會最適森林面積為 Q^f ，森林的價值為 P^f 。然而森林的公效益無法透過實際市場交易來反應，因此農民只能獲得 P^* 的價格，導致農民只願意種植 Q^* 面積的森林，而不是站在社會立場上最適而該有的森林面積 Q^f 。至於 $\overline{Q^*Q^f}$ 就是社會最適森林面積與實際種植之森林面積間的差距，也隱含人們認為應該造林但沒有造林的面積。

3.2 造林獎勵政策對森林面積的影響

自 1991 年政府陸續推出的農地造林政策、全民造林政策及平地景觀造林政策，這一系列的造林政策，和逐漸提高的造林獎勵金，以私有農地為例，1991 年之農地造林政策每公頃農地 6 年共可領造林獎勵金 131,000~329,000 元，亦即平均每年 21,833~54,833 元；而至 2002 年之平地景觀造林政策每公頃農地 20 年共可領造林獎勵金 1,610,000 元，平均每年 80,500 元，這些政策使得市場原來之均衡森林面積 Q^* ，愈來愈往社會最適森林面積量 Q^f 移動。

然而根據林國慶與柳婉郁（2007）之研究發現，超限利用土地參與造林政策的面積並不高，因此可知尚有許多應該造林的土地並未造林，是以政策雖使森林面積 Q^* 右移，但仍未能達到社會最適森林面積 Q^f 。由圖 2 可知，

進而，在無外部性存在之情況下，政府用補貼或其它政策工具干預生產會造成無謂的損失 (Deadweight Loss)，但在外部性存在的情況下，政府的干預應該是試圖減少或消除無謂損失，特別是政府在此的補貼支出可視為在碳市場運作的情況下，由製造此外部性的來源，如製造部門等支付，因此不會對農林部門整體的社會福利造成更大的扭曲。

綜合而言，在假設造林獎勵金和休耕補貼不會影響政府其他財政支出下，亦即不會排擠其他公共建設導致社會福利下降的前提下，衡量社會整體之福利除了先前透過產品市場均衡的生產者剩餘和消費者剩餘外，還應加上參與造林獎勵政策和休耕補貼政策之農民和林農的生產者剩餘。

IV、實證模型之建構與資料處理

4.1 模型之建構

4.1.1 目標函數

根據上節之理論概念，以最新可得之 2005 年為基期年，透過獎勵造林和碳吸存補貼來誘使更多的私人經營之林地，或林地之超限利用地、休耕之農地投入造林。然在 2005 年之前已投入獎勵造林政策之土地，需保持 20 年不砍伐才能領到造林獎勵，在假設農民皆會守法的情況下，這些土地目前尚不需考量伐木或新植與否，因此本研究期初的目標將鎖定在目前未參與造林獎勵的林地、休耕地和違法超限利用之宜林地上，希望藉由利用獎勵金和碳吸存補貼來誘使其造林，同時也希望此後能誘使先前參與獎勵造林政策的農地及林地皆能在期滿後繼續投入造林。

而在前述土地最大可能的利用情況下，農林部門福利極大即求取圖 1 中的 ABC 面積，也就是將需求線下面之面積扣除生產成本。因此模型可依照

所設定之政府對造林之補貼政策，求出農民在林業及農業中之各類產出面積、要素投入數量、農產品產出之價格、及政府在此政策下之補貼支出等。要素價格及林產品價格則假設為外生，此設定在台灣為貿易小國的情況下應算合理。

依此首先透過對逆需求曲線積分獲得需求曲線下面積，所以首先透過對反需求曲線積分獲得需求曲線下面積。在假設有 i 種林產品和 j 種農產品時，以(1)式中之 $DEMANDAG$ 分別表示農業部門需求曲線下之面積

$$DEMANDAG = \sum_j \int A\phi_j(AQ_j) dAQ_j \quad (1)$$

其中 $A\phi_j(*)$ 為農產品 j 之反需求函數； AQ_j 為農產品 j 的需求量。

然而，欲求得產品之逆需求函數，除了需有各別產品之價格和需求量外，還需要有各別產品之需求彈性。但由於林產品之需求彈性複雜，除受木材價量影響外，還受造林獎勵政策的影響，所以在(2)式林業部門需求線下面積部分，僅以價格乘以需求量來表示

$$DEMANDFOR = \sum_i PF_i * FQ_i \quad (2)$$

其中 FQ_i 為林產品 i 的需求量， PF_i 為林產品 i 之價格。

然台灣為開放經濟體系國家，由前述的概念基礎可知，完整農林部門之社會福利除了如圖 2 的 ABC ，或者是在有任何造林獎勵或碳稅補貼下的 ERC 面積甚而是最理想狀態下的 $MN'C$ 面積外，尚需加上淨出口部分才是開放經濟體系下的社會福利。而台灣在農林產品貿易上為貿易小國的國際價格接受者，這一部分的福利為價格與數量相乘而得。以(3)式 $TRADFOR$ 和(4)式 $TRADAG$ 分別表示林業部門和農業部門之淨出口部分

$$TRADFOR = \sum_i PFE_i * FEX_i - \sum_i PFI_i * FIM_i \quad (3)$$

$$TRADAG = \sum_j PAE_j * AEX_j - \sum_j PAI_j * AIM_j \quad (4)$$

其中 PFE_i 為林產品 i 之出口價格； FEX_i 為林產品 i 之出口量； PFI_i 為林產品 i 之進口價格； FIM_i 為林產品 i 之進口量； PAE_j 為農產品 j 之出口價格； AEX_j 為農產品 j 之出口量； PAI_j 為農產品 j 之進口價格； AIM_j 為農產品 j 之進口量。

而在生產成本部分，由於農業產出和成本隨區域不同而有明顯的差異，且林業的造林獎勵金因地目別不同而有差異，所以將全國分區，並將土地依地目別分類。林業部門主要考量林木的種植成本(5)式 $ESTCOST$ 和砍伐成本(6)式之 $HARVCOST$ ，其中 CE_i 為種植 i 樹種每單位面積所需成本； $FEL_{r,i,x}$ 為 r 地區之 x 地目上 i 樹種的種植面積； CH_i 為砍伐 i 樹種每單位面積所需成本； $FHL_{r,i,x}$ 為 r 地區之 x 地目上 i 樹種的砍伐面積；而農業部門則將種植作物所需之種苗、農藥、勞動、材料、機工、能源、地租和資本利息等成本，全部簡化為僅隨單位面積改變而變動之成本，以(7)式 $CROPCOST$ 表示。其中 $CAW_{r,j}$ 代表生產每單位面積之作物 j 所需之各種成本加總，而 $AL_{r,j}$ 為 r 地區的 j 作物之種植面積

$$ESTCOST = \sum_r \sum_i \sum_x CE_i * FEL_{r,i,x} \quad (5)$$

$$HARVCOST = \sum_r \sum_i \sum_x CH_i * FHL_{r,i,x} \quad (6)$$

$$CROPCOST = \sum_r \sum_j CAW_{r,j} * AL_{r,j} \quad (7)$$

另外在森林之非市場價值部分，由於平地景觀造林政策將於 2008 年底結束，且由先前的推論發現造林獎勵政策之獎勵金並未能完全反應社會對森林的需求，所以將森林碳吸存等公效益價值藉由補貼的方式，附加在先前未能反應森林價值的造林獎勵政策上，補貼給造林的林農。因此參與造林獎勵

政策的農民，除了可以得到造林政策的獎勵金額外，還可以獲得碳吸存效益的補貼，分別以(8)式 *PROGRAFF* 和(9)式 *PROGSQU* 表示

$$PROGRAFF = \sum_r \sum_i \sum_x PFS_x * FPL_{r,i,x} \quad (8)$$

$$PROGSQU = \sum_r \sum_i \sum_x PC * SQ_i * FPL_{r,i,x} \quad (9)$$

其中 PFS_x 為 x 地目上每單位面積可領之造林獎勵金， $FPL_{r,i,x}$ 為 i 樹種在 r 地區之 x 地目下參與造林獎勵政策的面積， PC 為碳稅價格， SQ_i 為單位面積下 i 樹種所能吸存的碳量。

而農業雖包括保證價格收購制度、水旱田休耕及關稅配額之進口貿易政策等已推行多年之相關政策，但在兼顧森林價值，又不導致農產品價格高漲的土地最適配置下，所以一如先前農地造林政策般之考量，希望誘使休耕農地投入造林，增加森林碳吸存量，且另一方面又使休耕農地不致於荒廢棄置、增加平地景觀綠美化。因此在農林部門模型中，加入休耕補貼政策，(10)式之 *PROGFAL* 表示參與休耕補貼政策的農民，將可從休耕獎勵金中獲得收益。其中 PAS 為每單位面積可領之休耕補貼金額，而 APL_r 為參與休耕補貼之農地面積。(8)、(9)及(10)式之和，也就是圖 2 中農民所領到的補貼金額 $\overline{P_2 P^*} * Q_2$

$$PROGFAL = \sum_r PAS * APL_r \quad (10)$$

又林木成長是個長期的過程，種植林木不若種植一般農作物般幾乎每年都可收成，且林木的成本主要集中在前幾年之整地、栽植、除草和最後一年之砍伐成本，所以林木栽植時間之長短和折現率的高低，都是林農進行栽植林木與否的決策行為時必須考量的因素。而折現是可以用來表示不同時間對各項成本和費用的不同影響方式。此外，模型設定反應造林成本、獎勵金額和碳吸存量在不同樹齡的變化。而在農業部門的部份，則假設每年各生產活動之投入及成本不變。

4.1.2 限制式

限制式部分主要為農、林產品的供需均衡和農、林土地的總量限制。(11)式為林產品市場均衡，其中產品量值轉換成原木材積量表示， FQ_i 為林產品 i 的需求量； FEX_i 為林產品 i 之出口量； FIM_i 為林產品 i 之進口量， $FHL_{r,i,x}$ 為 r 地區之 x 地目上 i 樹種之砍伐面積， FCH_i 為樹種 i 的每單位面積生長的材積量， α 為伐採材積量和可用材積間的轉換係數

$$FQ_i + FEX_i - FIM_i - \sum_r \sum_x FHL_{r,i,x} * FCH_i * \alpha \leq 0 \quad (11)$$

(12)式為農產品市場均衡，也就是消費及生產與進出口間的均衡，其中 AQ_j 為農產品 j 的需求量； AEX_j 為農產品 j 之出口量； AIM_j 為農產品 j 之進口量， $AL_{r,j}$ 為 r 地區 j 作物之收穫面積， ACH_j 為作物 j 之單位面積產量

$$AQ_j + AEX_j - AIM_j - \sum_r AL_{r,j} * ACH_j \leq 0 \quad (12)$$

(13)式為林業土地之均衡， $FOL_{r,x}$ 為 r 地區之 x 地目上期初的森林面積， $FEL_{r,i,x}$ 為 r 地區的 x 地目上新植的森林面積， $FHL_{r,i,x}$ 為 r 地區 x 地目上森林的砍伐面積， $FTL_{r,x}$ 為 r 地區 x 地目上新植的森林面積， $RL_{r,x}$ 為 r 地區之 x 地目上先前參與造林獎勵政策結束後所釋放出來的土地面積

$$FOL_{r,x} + \sum_i FEL_{r,i,x,T} - \sum_i FHL_{r,i,x} \leq FTL_{r,x} + RL_{r,x} \quad (13)$$

(14)式為農業用土地之均衡， $AL_{r,j}$ 為 r 地區 j 作物的種植面積， APL_r 為 r 地區的休耕面積， $FAL_{r,j}$ 為農地移轉至林業之面積， ARL_r 為 r 地區先前參與造林獎勵政策結束後所釋放出來的農地面積

$$\sum_j AL_{r,j} + APL_r + \sum_i FAL_{r,i} \leq ATL_r + ARL_r \quad (14)$$

綜合結合前述各式完整模型彙整如(15)至(19)式所示，之前目標函數每一項加上時間的下標，即表示可以隨時間變化的情形

目標式：

$$\begin{aligned} Max \ W = \sum_t (1+d)^{-t} [& DEMANDFOR_t + TRADFOR_t - ESTCOST_t \\ & - HARVCOST_t + PROGAFF_t + PROGSQU_t \\ & + DEMANDAG_t + TRADAG_t - CROPCOST_t + PROGFAL_t] \end{aligned} \quad (15)$$

限制式：

$$FQ_{i,t} + FEX_{i,t} - FIM_{i,t} - \sum_r \sum_x FHL_{r,i,x,t} * FCH_{i,t} * \alpha \leq 0 \quad \forall i,t \quad (16)$$

$$AQ_{j,t} + AEX_{j,t} - AIM_{j,t} - \sum_r AL_{r,j,t} * ACH_{j,t} \leq 0 \quad \forall j,t \quad (17)$$

$$FOL_{r,x} + \sum_i FEL_{r,i,x,t,T} - \sum_i FHL_{r,i,x,t} \leq FTL_{r,x,t} + RL_{r,x,t} \quad \forall r,x,t \quad (18)$$

$$\sum_j AL_{r,j,t} + APL_{r,t} + \sum_i FAL_{r,i,t} \leq ATL_{r,t} + ARL_{r,t} \quad \forall r,t \quad (19)$$

上述目標函數及所有限制式內各符號的定義彙整如表 3。

4.2 資料來源與處理

為模擬造林獎勵政策及森林碳吸附效益補貼對農林部門的影響，必須收集前述農、林兩部門所需要的相關資料，並做適當的處理。在適時性和完整性的考量下，選定 2005 年之統計資料為基期。此外由於農作物產出和成本隨區域不同而有明顯的差異，依據『農業統計年報』（行政院農業委員會，

2004a~2005a)之區域分項,將台灣分成北、中、南、東四區,各區所涵蓋之縣市如表4所列。

4.2.1 農業部門

農業部門之作物是選擇與林業競租效果較強之作物,在超限利用土地上所栽植之農作物,根據施瑩艷(2005)研究可知,台灣2004年之超限利用土地主要種植了果樹、檳榔、茶、蔬菜、蔬菜、竹筍和其他作物,而果樹又以梅、柑橘類、梨、李、桃、芒果、柿、荔枝、龍眼和其他果樹為主。所以農業部門主要選定的作物為檳榔、梅、茶、梨、李、桃等超限利用面積百分比比較高的幾項(註4)。這些作物之超限利用面積占該作物種植面積的11~52%不等,而其中梅的超限利用面積即高達種植面積的52%。而除了競租作物外,尚加入農業產量最大、產值最高之稻米。

相關競租作物及稻米的生產資料主要之年產量、種植面積、收穫面積和單位面積產量,則來自『農業統計年報』(行政院農業委員會,2004a;2005b)及『農業糧食統計要覽』(行政院農業委員會農糧署,2004;2005a)。然因未考量運輸成本,所以農產品價格乃採用2005年各農作物之產地價格,其資料採自『農業統計月報』(行政院農業委員會,2005c)。稻米價格為在來稻穀、蓬來稻穀和長秈稻穀價格之平均,而茶採用手採烏龍茶菁和手採金萱之平均價格;桃的價格為鶯歌桃、甜桃、水蜜桃價格之平均,至於梅則採竿採青梅之價格,而由於超限利用土地之梨子多為橫山梨嫁接高山梨,所以採新世紀梨、豐水梨和新興梨之平均價格。此外,檳榔的價格則來自『農業統計月報』(行政院農業委員會,2005c),以上所有資料整理於表5。

表 3 農林部門模型之參數及變數定義

變(參)數	定義說明	變(參)數	定義說明
W	農林部門福利總和	d	折現率
$DEMANDFOR_t$	t 期時林業部門需求曲線下之面積	$ESTCOST_t$	t 期時種植成本
$TRADFOR_t$	t 期時林業部門淨出口值	$HARVCOST_t$	t 期時砍伐成本
$PROGAFF_t$	t 期時造林政策獎勵金額	$PROGSQU_t$	t 期時碳吸存補貼
$DEMANDAG_t$	t 期時農業部門需求曲線下之面積	$TRADAG_t$	t 期時農業部門淨出口值
$CROPCOST_t$	t 期時農業部門變動成本	$PROGFAL_t$	t 期時休耕補貼
$FEX_{i,t}$	t 期時林產品 i 的出口量	$FQ_{i,t}$	t 期時林產品 i 的國內需求量
$FIM_{i,t}$	t 期時林產品 i 的進口量	$AQ_{j,t}$	t 期時農產品 j 的國內需求量
$PAE_{j,t}$	t 期農產品 j 的出口價格	$AEX_{j,t}$	t 期時農產品 j 的出口量
$PAI_{j,t}$	t 期農產品 j 的進口價格	$AIM_{j,t}$	t 期時農產品 j 的進口量
$FCH_{i,t}$	t 期單位面積產出的 i 林木產量	$APL_{r,t}$	t 期參與休耕政策的農地面積
$ACH_{j,t}$	t 期單位面積產出的 j 作物產量	$AL_{r,j,t}$	t 期初 j 作物在 r 地區的種植面積
$FAL_{r,i,t}$	t 期 r 地區農地種植 i 林木的面積	$FHL_{r,i,x,t}$	t 期 i 林木在 r 地區 x 土地砍伐面積
$FPL_{r,i,x,t,T}$	t 期 i 林木在 r 地區 x 土地上參與造林獎勵政策面積	α	砍伐材積和可用材積間的轉換係數
$FOL_{r,x}$	t 期 r 地區 x 土地期初已造林面積	$FTL_{r,x,t}$	t 期 r 地區 x 土地所有尚未參與造林獎勵之可造林土地面積
$FEL_{r,i,x,t,T}$	t 期 i 林木在 r 區域 x 土地種植面積	$RL_{r,x,t}$	t 期 r 地區先前參與造林獎勵政策結束後所釋放的 x 土地面積
$ATL_{r,t}$	t 期 r 地區所有競租作物種植面積和休耕面積	$ARL_{r,t}$	t 期 r 地區先前參與造林獎勵政策結束後所釋放的農地面積

資料來源：本研究。

表 4 模型之區域劃分

地區	縣市政府和林業有關機關
北區	基隆市、台北縣、台北市、宜蘭縣、桃園縣、新竹縣、新竹市、羅東林區管理局、新竹林區管理處、森林保育處、林業試驗所。
中區	苗栗縣、台中縣、台中市、彰化縣、南投縣、雲林縣、東勢林區管理處、南投林區管理處、台灣大學實驗林管理處、中興大學實驗林管理處、台灣大學附設山地實驗農場。
南區	嘉義縣、嘉義市、台南縣、台南市、高雄縣、高雄市、屏東縣、澎湖縣、嘉義林區管理處、屏東林區管理處、嘉南農田水利會。
東區	花蓮縣、台東縣、花蓮林區管理處、台東林區管理處。

資料來源：整理自行政院農委會林務局（2005a）。

表 5 林業競租作物 2005 年之產量、面積和價格

作物	年產量 (公噸)	種植面積 (公頃)	收穫面積 (公頃)	單位面積產量 (公斤/公頃)	產地價格 ¹ (元/公斤)
稻米 ²	1,467,138	269,120	269,023	5,454	19.18
茶 ³	18,803	17,620	17,064	1,102	129.12
檳榔	138,095	51,748	50,337	2,743	73.00
李	29,202	3,592	3,509	8,322	36.39
桃 ⁴	25,468	2,899	2,702	9,426	58.51
梅 ⁵	45,937	8,518	7,573	6,066	8.27
梨 ⁶	113,183	8,409	8,284	13,663	57.77

資料來源：行政院農業委員會（2005a、2005c）。

註：1. 產地價格採 2005 年年平均價格。

2. 稻米的資料內涵為稻穀；價格為在來稻穀、蓬來稻穀和長秈稻穀 2005 年產地平均價格；種植與收穫面積包含一、二期作之總和，但在後續模型內可用土地之限制上，則是採用兩期種植面積之平均，亦即實際稻米種植面積約為表中的一半，以反應實際可用於造林的土地面積。

3. 茶的價格為手採烏龍茶青和手採金萱茶青 2005 年產地平均價格。

4. 桃的價格為鶯歌桃、甜桃、水蜜桃 2005 年產地平均價格。

5. 梅的價格採手採青梅 2005 年產地平均價格。

6. 梨的價格為新世紀梨、豐水梨、新興梨 2005 年產地平均價格。

而進出口價格與數量資料均來自『農產貿易統計要覽』（行政院農業委員會，2004b），其中除桃之進出口部分，因 2005 年比起其他年份異常高，因而採最近的 2004 年之資料外，其餘作物之數量、價值與匯率均是 2005 年的資料。至於各產品之需求彈性，則是由文獻取得，稻米之需求彈性是參考楊明憲（1995）；茶、檳榔、李、桃、梅和李之需求彈性皆參考林依瑩（1996），此外，假設為固定彈性模型，所有資料彙整如表 6。

表 6 競租作物之消費量和需求彈性

產品別	年產量 (公噸)	進口量 (公噸)	出口量 (公噸)	消費量 (公噸)	彈性
稻米	1,467,138.11	73,880.27	9,739.61	1,531,278.77	-0.2284
茶	18,803.00	22,059.33	9,942.82	30,919.51	-1.4500
檳榔	138,095.00	0.00	406.86	137,688.14	-0.4500
李	29,202.00	18,084.83	0.81	47,286.02	-0.5000
桃	25,468.00	42,447.95	14.00	67,901.95	-0.5000
梅	45,937.00	636.29	674.52	45,898.77	-0.5000
梨	113,183.00	11,803.08	7.25	124,978.83	-0.5000

資料來源：稻米之需求彈性來自楊明憲（1995）；茶、檳榔、李、桃、梅和李之需求彈性來自林依瑩（1996）。其餘來自行政院農業委員會（2005a、2005b）。

註：桃之進出口量值為 2004 年。

農產品生產之資料來自『台灣農業生產成本調查報告』（行政院農業委員會農糧署，2005b）。然而並非每個生產地都有生產成本的資料，此時臨近縣市之成本則成為可能的代替資料來源，但單位產出仍以該縣市為主。且為配合價格的選擇，茶之成本為手採茶菁之成本；桃之成本為 2004 年之成本，而梅之成本為竿採青梅之成本，此外由於檳榔、李缺乏 2005 年之成本資料，所以以 2004 年之成本替代。最後，競租作物的生產面積，則需要所有競租作物 1999 年至 2005 年的生產面積，而為考量稻米的休耕政策，亦需基期年之休耕面積，如表 7。

表 7 2005 年各縣市輪作休耕面積

單位：公頃

縣市別	面積	縣市別	面積	縣市別	面積
宜蘭縣	14,749	台中縣	3,681	台南市	1,455
基隆市	54	台中市	275	高雄縣	10,058
台北縣	4,349	南投縣	1,614	高雄市	576
台北市	421	彰化縣	15,008	屏東縣	7,268
桃園縣	26,780	雲林縣	25,215	台東縣	6,036
新竹縣	7,850	嘉義縣	23,590	花蓮縣	14,328
新竹市	924	嘉義市	578		
苗栗縣	8,967	台南縣	41,926	合計	215,702

資料來源：行政院農業委員會農糧署 2005 年內部統計資料。

4.2.2 林業部門

林業部門因礙於相關單位資料記載的不完整，其中並無樹種資料，農民之決策選擇僅有種樹、不種樹或種植其他競租作物。此外，現實中不同樹種之最適輪伐期並不相同，在此比照全民造林和平地景觀造林之獎勵制度，用二十年的標準年限，來規範所有參與造林獎勵政策之林農，以能反應政策制定時需考量政策實行之便利性和政策涵蓋的內容及廣度。

至於一般消費者在林產品市場中消費的是林產品，本研究並未考量加工成本，而是直接透過原木伐採量和原木價格來模擬國內的林產品市場。而其他廣大的非由私人經營的林地，則暫時不在本研究的研究範圍內。因此本研究可供造林地的來源，除了換算在 2005 年私人經營之 70,208.2 立方公尺之林地伐木總量的面積，尚包括租地、原住民保留地、農地，即競租作物的土地面積和休耕地等，這四類土地的總面積，扣除期初（2006 年）及之前已參與造林獎勵政策面積，剩下未參與造林獎勵政策的所有可造林土地面積。

而在相關價格部分，採用林務局木材市價資訊系統中 2005 年各樹種之年平均價格，以 2005 年不同樹種之生產量為權重，求得 2005 年之加權平均價格。林產品進出口統計數據來自資料相對完整的『林業統計年報』（行政院農業委員會林務局，2005a），此一資料主要來自財政部關稅總局。2005 年的出口數量與價值分別為 1,079,839 立方公尺及 26,324,108 千元，而進口數量為 7,502,989 立方公尺，價值則為 46,601,589 千元（行政院農業委員會林務局，2005a）。由林務局人士專訪得知，砍伐材積與可用材積間的轉換係數約為 0.7，因此以 0.7 分別乘以私人經營林地砍伐量和非私人經營之林地砍伐量，計算實際進入木材市場的可用材積量，再加減進出口量得到消費量，如表 8 所列。

表 8 2005 年林產品市場消費量計算

單位：立方公尺

年	生 產 量				出口量	進口量	消費量
	私人經營林地		非私人經營林地				
	伐採量	可用材積	伐採量	可用材積			
2005	39,492.86	27,645.00	20,566.30	14,396.41	26,324,108.00	46,601,589.00	20,319,522.41

資料來源：本研究。

由於不論是林農之木材收益和森林碳吸存之公效益都與立木材積有直接的關係，所以需挑選較能代表目前現存林木的樹種，並同時兼顧資料處理的一致性。由 1990 年至 2005 年各樹種新植面積發現，過去種植的針葉樹與闊葉樹比例大約為 1：3，而其中針葉樹又以紅檜和肖楠為最多；闊葉樹以欖木和樟樹為最多。而柳中明、林俊成與劉銘龍（2007）研究中對肖楠、欖木和樟樹三種樹種之 CO₂ 吸存量，反推肖楠、欖木和樟樹之立木材積生長量。然後再以肖楠代表針葉樹；欖木和樟樹代表闊葉樹加權平均，求得代表性樹種之碳吸存量（存量）、單年碳吸存量（流量）與材積生長量（存量）和單年材積生長量如(20)式所示。

$$C_t = [V_t * D * BEF] * (1 + R) * CF * (44/12) \quad (20)$$

式中 C_t = 時間為 t 時的林木 CO_2 (公噸/公頃); V_t = 林齡 t 年之林木材積 (立方公尺/公頃); D = 基本木材密度 (公噸/立方公尺); BEF = 林木生物量換算為地上部生物量的生物量擴展係數; R = 根莖比率, 而 CF = 碳含量比例。

然而在模型中除了新植的林木外, 尚包含模型期初即存在的林木, 所以需推估期初林木之年齡。假設林地上平均種植各種年齡之林木, 在沒有外在因素介入時, 林農會在最適輪伐期時砍伐。而林農伐採時點的估算, 以全民造林政策獎勵造林樹種之輪伐期與 1990~2005 年各樹種一般造林面積總量加權, 如表 9 得林農最適會在林木平均為 35 歲時砍伐。

表 9 平均最適輪伐期之估算

樹種	1990~2005年 種植面積加總	全民造林各 樹種建議最 適輪伐	樹種	1990~2005年 種植面積加總	全民造林各 樹種建議最 適輪伐
扁柏	225.08	60	木麻黃	1,559.89	20
紅檜	3,192.45	60	檫木	5,121.13	50
杉木	1,091.86	20	泡桐	524.4	20
香杉	278.27	30	光臘樹	1,511.25	20
柳杉	561.07	20	樟樹	4,689.18	30
台灣杉	1,471.05	30	楓香	2,368.25	20
肖楠	2,350.45	50	油桐	362.88	20
二葉松	19.95	-	其他闊葉樹	11,424.77	
溼地松	184.9	-	造林針闊混淆林	166.44	
其他針葉松	1,894.04	-	竹類	1,807.53	
相思樹	2,407.05	20			
桃花心木	1,344.25	30	加權平均		35.0963

資料來源：行政院農業委員會林務局(2005a)；本研究以各樹種最適輪伐年限及種植面積加權估算而得全體樹種的最適砍伐年限的代表。

由於造林獎勵政策之苗木由林務局提供，所以沒有苗木費。造林撫育成本則根據汪大雄、鍾旭和與王培蓉（1998）對私有林農之實地訪查資料而得，但因其並未考量土地利用之機會成本，所以地租的資料則以柳婉郁（2004）每年每公頃 10,000 元為主，如表 10。最後，有關砍伐成本是以柳婉郁（2004）估算的公私有林地之伐木成本為主，但每公頃之材積量以先前估算之 35 年林木材積量計算，如表 11 所示。

表 10 造林撫育成本

撫育年度	項目	人工數	金額	撫育年度	項目	人工數	金額
第一年	整地	15	18,000	第六年	除草(2)	20	24,000
	栽植	20	24,000		地租		10,000
	除草(3)	30	36,000	第七年	除草(2)	20	24,000
	地租		10,000		地租		10,000
	合計		88,000	第八年	除草(1)	10	12,000
			地租			10,000	
第二年	除草(4)	40	48,000	第九年	除草(1)	10	12,000
	地租		10,000		地租		10,000
第三年	除草(4)	40	48,000	第十年	除草(1)	10	12,000
	地租		10,000		地租		10,000
第四年	除草(3)	30	36,000	第十一年	地租		10,000
	地租		10,000		地租		10,000
第五年	除草(3)	30	36,000	:	:	:	:
	地租		10,000	第二十年	地租		10,000

資料來源：租地資料來自柳婉郁（2004），其他資料來自汪大雄、鍾旭和和王培蓉（1998）。

註：項目別括號內之數字表示一年內除草的次數。

表 11 砍伐成本之計算

所有權別	伐木成本 (元)	總生產數量 (立方公尺)	單位伐木成本 (元/立方公尺)	每公頃材積量 (立方公尺/公頃)	每公頃伐木成本 (元/公頃)
公、私有林地	1,749,755	3,343.67	523.30	288.48	150,962.66

資料來源：整理自柳婉郁(2004)，而每公頃材積量和伐木成本由本研究估算而得。

V、實証結果與分析

5.1 模擬情境設定與基期年之測試

爲了解政府之造林獎勵政策和碳吸存補貼，對不同土地類別的農民所提供之誘因、可能增加之造林面積、及新植林木存在的時間長短，乃模擬了一個自基期年之隔年，即 2006 年起實施之造林獎勵政策，其發放的獎勵金額高低和各年獎勵金的發放辦法，完全比照先前的全民造林和平地景觀造林政策，是一個一旦參與便至少需參加 20 年之造林獎勵政策，進而再進一步考量加上碳吸存補貼之後，不同補貼情境之影響。

此外爲了涵蓋先前所有參與造林獎勵政策的農民，將政策推行年限設定爲 21 年，而在 2026 年結束，進一步觀察最後一批參與造林獎勵政策結束後五年內的可能行爲，因此模型設定的時間涵蓋 2005~2050 年，模型期間土地參與造林獎勵政策及使用如圖 3 所示。

目前許多學者和環保團體都強調除了要鼓勵新植林外，對於既成林的維持也相當重要，所以要藉由森林的碳吸存效益來反應既成林與新植林間價值之不同，是以限定領取碳吸存補貼之森林至少須種植 20 年以上以方符合既成林之標準，但對於碳吸存補貼的給予並沒有時限，若農民於造林獎勵政策結束後如繼續維持其林木而不砍伐，則仍可以繼續領取森林碳吸存公效益之補貼，而碳吸存補貼之金額高低完全取決於林木生長所吸存的碳量。

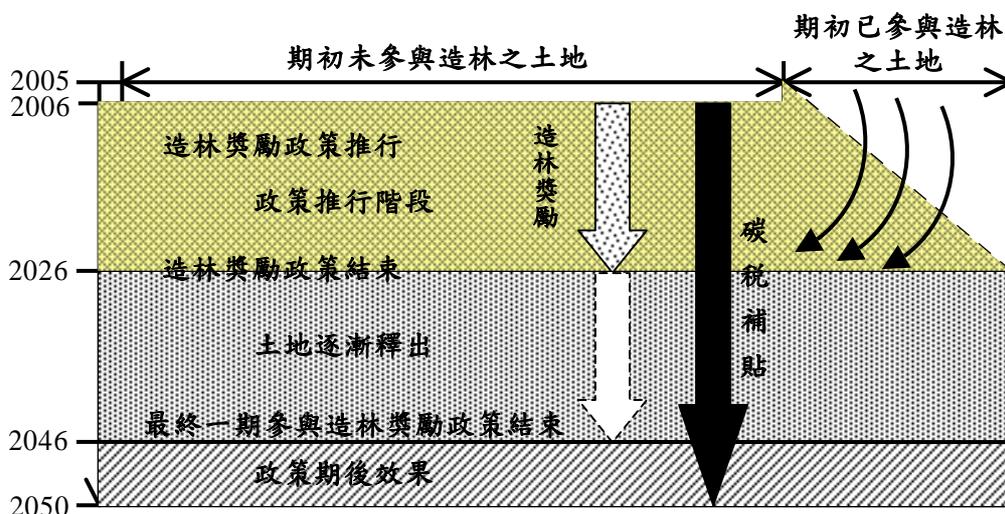


圖 3 造林獎勵政策和土地使用的關係

資料來源：本研究。

在進行各種模擬之前必須確認模擬值與實際值的差異，以確保模擬模型的有效性。模型所求出的解與 2005 年實際資料比較如表 12 得知，就稻米及其他各類競租作物，其誤差約為 4% 至 8% 不等，整體而言是在可以接受的範圍內。至於林木的部分，私有林地 2005 年扣除造林獎勵政策下新植面積，實際新植面積僅 1.7 公頃，而模型解為零，可能是因為實際值過小讓模型解趨近於零，但該結果雖未精確評估出實際數值，但的確反應出在木材價格長期低落且沒有造林獎勵政策時，林農缺乏造林誘因下的結果。

表 12 模型基期年均衡與實際值之比較

作物種類	實際產量單 (公噸)	模型均衡產量 (公噸)	誤差比例 (%)
稻米	1,467,138.00	1,414,909.74	0.0356
茶	18,803.00	17,942.93	0.0457
檳榔	138,095.00	149,540.42	0.0829
李	29,202.00	27,466.77	0.0594
桃	25,468.00	24,474.68	0.0390
梅	45,937.00	43,790.45	0.0467
梨	113,183.00	107,064.85	0.0541

資料來源：本研究。

5.2 不同碳吸存補貼水準的模擬

碳吸存的補貼在此做為回饋給林農之另一獎勵或補貼，以此增加森林碳吸存之公效益回饋給林農的大小，因此碳吸存補貼的高低扮演相當重要的角色。歐盟 2006 年 CO₂ 排放權之期貨價格每公噸 12.3 歐元，根據台幣對歐元 2006 年之平均匯率 40.912 換算而得 503.303 元台幣後，再與 Wang *et al.* (2001) 運用一般均衡模型 (Computable General Equilibrium, 以下簡稱 CGE) 模型求得之每公噸 CO₂ 課徵 1,820 元之碳稅平均，得每公噸碳稅為 1,161.652 元，本文以此做為設定碳吸存補貼價格的參考點，以每公噸 1,200 元為上限，模擬 CO₂ 每公噸由 1,200 元往下每調降 100 元的各種情形，亦即模擬了碳吸存補貼在 1,100 元、1,000 元、900 元、800 元、700 元、600 元、500 元、400 元、300 元、200 元和 100 元等多種情形。

5.2.1 農林部門社會總福利及邊際福利的變化

由資料可知，政府花用於補貼造林的預算，在模擬基期年—2005 年為 33,070,130 元，此一結果遠小於表 13 所呈現由「無政策」到「造林獎勵」情境下所創造出來的 862,821,853 元之農林部門之社會福利，此一結果除了顯示政府投入造林獎勵是值得的。除了從沒有造林獎勵政策到有造林獎勵政策，使得農林部門社會福利增加大幅增加 8 億多元外，若再加上每公噸 100 至 1,200 元之碳吸存補貼，則相對於完全無任何獎勵及補貼政策時，農林部門的社會福利又更增加約 8~10 億元不等，而來自每公噸 100 元至 1,200 元不等的碳吸存補貼，則為農林部門增加衍生出 1 千 1 百萬元至 1 千 3 百萬元的社會福利，其結果呈現如圖 4 所示。

而在有造林獎勵金之前提下，碳吸存補貼所產生的農林部門社會福利的邊際效果，由每公噸 100 元的補貼開始，補貼價格每增加 100 元，則農林部門社會福利的邊際變動則約增加 1 千萬多元；且隨著每公噸補貼價格的上

升，到本模型所設定的每公噸 1,200 元之上限時，其補貼的邊際效果為 1 千 3 百多萬元，相較每公噸 100 元的邊際效果，共上升了 11.36%，整體而言，在此一碳吸存補貼範圍內之邊際效果仍在遞增的階段，其結果如圖 5 所示。

表 13 不同情境下的農林部門社會福利變化¹

單位：元/年

政策類別	農林部門社會福利總值	獎勵或碳吸存補貼的邊際效果 ²
(A) 無政策	2,235,644,892,914	0
(B) 造林獎勵	2,236,507,714,767	862,821,853
(C ₁) 造林獎勵+\$100 補貼 ³	2,236,519,389,252	11,674,485
(C ₂) 造林獎勵+\$200 補貼	2,236,531,207,554	11,818,302
(C ₃) 造林獎勵+\$300 補貼	2,236,543,165,740	11,958,186
(C ₄) 造林獎勵+\$400 補貼	2,236,555,259,280	12,093,540
(C ₅) 造林獎勵+\$500 補貼	2,236,567,513,032	12,253,752
(C ₆) 造林獎勵+\$600 補貼	2,236,579,871,498	12,358,466
(C ₇) 造林獎勵+\$700 補貼	2,236,592,334,358	12,462,860
(C ₈) 造林獎勵+\$800 補貼	2,236,604,916,112	12,581,754
(C ₉) 造林獎勵+\$900 補貼	2,236,617,638,653	12,722,541
(C ₁₀) 造林獎勵+\$1,000 補貼	2,236,630,458,113	12,819,460
(C ₁₁) 造林獎勵+\$1,100 補貼	2,236,643,406,826	12,948,713
(C ₁₂) 造林獎勵+\$1,200 補貼	2,236,656,407,432	13,000,606

資料來源：本研究。

註：1. 由於本模型所使用之需求假設為固定彈性，因此需求線並不會與軸接觸，為避免無法積分的問題，文獻上一般的處理方式是對價格設限，以免除所積之面積為無限大之結果。

2. 邊際效果中由 (A) 的「無政策」到 (B) 的「造林獎勵」所指的是造林獎勵政策所帶來的福利總和。而後續由 (C) 之後「造林獎勵加上不同金額」的政策組合之邊際效果，所強調的是不同碳稅補貼水準下新增的農林部門社會福利。

3. 碳吸存補貼單位為元/每公噸。

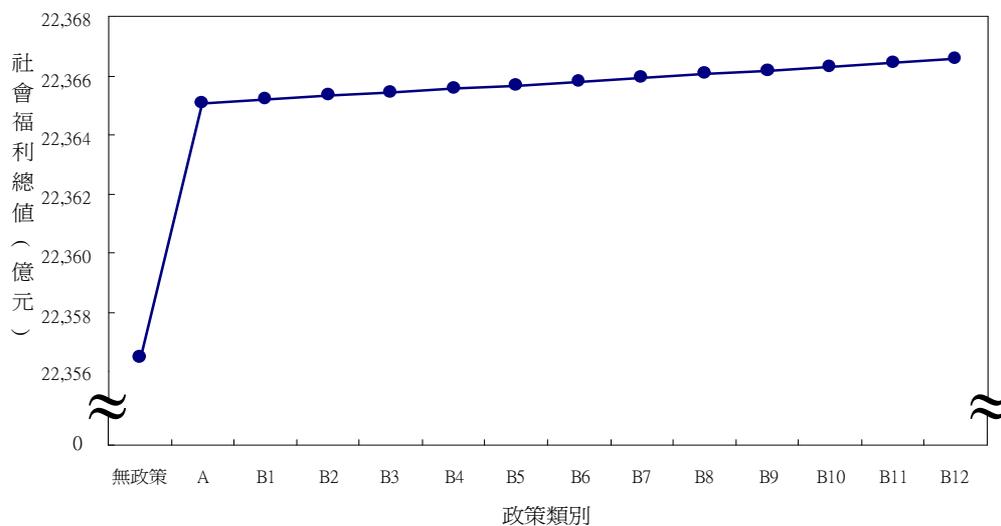


圖 4 不同政策與碳吸存補貼水準下的農林部門社會福利

資料來源：本研究。

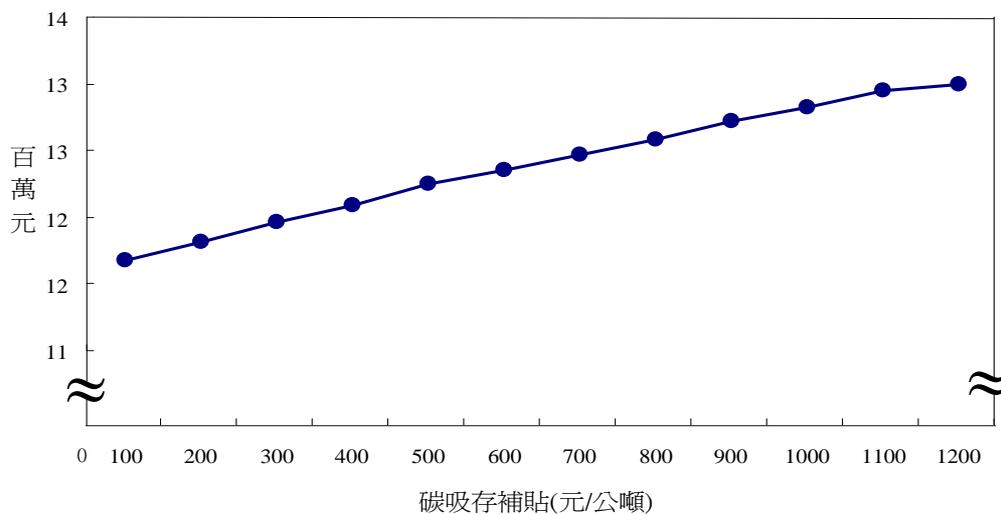


圖 5 不同碳吸存補貼水準下的農林部門社會福利邊際效果

資料來源：本研究。

5.2.2 新植林的砍伐年齡

表 14 為不同碳吸存補貼高低下，每年新植林木的砍伐年齡。首先由每年新植部分來看，由於 2006 至 2026 年模型除碳吸存補貼外尚包含造林獎勵政策，所以在 2006 年至 2026 年，雖然皆有每公噸碳吸存補貼 100~1,200 元於新植森林，但不代表每公噸 100 元和每公噸 1,200 元之碳吸存補貼效果對每年新植之誘因相同。這是因為隨著樹木的生長，其所能夠吸收的 CO₂ 量也同時增加，能夠領取總額更高的碳吸存補貼金額；而當每公噸給予的補貼價格不同時，自然也將因收到的總補貼額度不同，而有不同的種植與砍伐誘因。

如果透過砍伐年齡來看，不同碳吸存補貼對不同年新植之林木的砍伐年齡之差異。由前述的模擬可知，在只有造林獎勵而沒有碳吸存補貼的情況下，新植林的砍伐年齡為 25 歲，所以由表 13 可知，只要碳吸存補貼大於 100 元，林農就可能延長其砍伐年限，其年限在 27 年到 37 年不等，同樣隨著補貼價格的上升而延後砍伐。不過在表中的灰色部分並非新植林真正的砍伐年齡，因為模型年限至 2050 年且未給期終的林木殘餘價值，所以林農在 2050 年時一定會將林木砍伐，因此表中灰色部分無法辨別究竟是因為模型限制，還是林木真實的最適砍伐年齡。所以，僅觀察表中非灰色區塊部分，而這一部分的結果發現，碳吸存補貼愈高能誘使新植林愈晚被砍伐。

另外，無論在何種碳吸存補貼價格下，砍伐年齡會隨著新植年的延後而下降，如表 14 所示的結果，2015 年之後的新植林多半在 21 年後即會砍伐，推測其可能原因為由於加入碳吸存補貼後，將使得農民有更多的植林誘因；隨著年代愈晚，新植的森林愈來愈多，木材市場的價格也將因供給上升而下降，林農為了確保其砍伐林木之後的木材收益，在碳吸存補貼總額不高難以彌補延後砍伐的缺損下，林農寧願選擇縮短後來新植林之砍伐年齡，以保障木材銷售之收益。

表 14 不同碳吸存補貼下不同時間新植之新植林的砍伐年齡

新植年	碳吸存補貼(元/公噸)											
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
2006	27	28	32	30	30	30	35	36	38	38	37	37
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	21	21	21	21	21	21	-	-	-	-	-	-
2015	21	21	22	21	21	21	23	23	23	22	22	22
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
2018	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
2019	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
2020	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
2021	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
2022	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
2023	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
2024	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
2025	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
2026	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

資料來源：本研究。

註：「-」表示該年度沒有任何面積用於新植林木。

VI、結 語

京都議定書已於 2005 年 2 月 16 日生效，台灣雖非京都議定書之締約國，但若國際透過經濟制裁或出口綠色標章等方式來強制各國進行 CO₂ 減量，對以貿易為主軸的台灣將造成重大的影響，因此 CO₂ 減量將是台灣遲早要正視的問題。然京都議定書也通過凡 1990 年以後所進行之造林、再造林及森林砍伐所吸收或排放的 CO₂ 淨值，皆可併入溫室體排放減量的計算，所以森林資源提供了一個較產業和能源結構調整更為經濟的 CO₂ 吸存機會。

而台灣實施造林獎勵政策已有多年歷史，但政府在訂定造林獎勵金額時，主要以造林成本之補貼為主要考量，未考慮森林包括碳吸存等其他外部效益之價值。因此本研究透過碳吸存的補貼將森林之碳吸存效益回饋給造林者，利用農林部門模型，藉由對不同碳吸存補貼價格之模擬，觀察農林部門社會福利的變化。

模擬結果發現當只有造林獎勵而沒有碳吸存補貼時，農民在造林獎勵政策結束後五年即有可能將樹木砍伐，且一旦沒有造林獎勵金林農則不願意再繼續投入造林。然而只要給予每公噸碳吸存補貼大於 100 元之補貼，林農即願意延長其既成林之砍伐年限。且若將造林獎勵金附加 100 至 1,200 元的碳吸存補貼，可使得農林部門社會福利增加約 8 至 10 億元。此外，在已有造林獎勵金之前提下，碳吸存補貼使得農林部門社會福利由每公噸 100 元的 1 千萬逐步遞增至每公噸 1,200 元的 1 億 4 千萬，表示以碳吸存補貼誘使林農增加造林或延後砍伐年限，以農林部門社會福利的觀點而言，其誘因仍在遞增的階段。

要讓此類型的研究持續並更精確的進行，相當程度要仰賴最新可得、完整且可信的資料。然因最近一次的全國性林地調查，距今已有十多年之久，在缺乏全國性的林地資料情形下，本研究部分資料處理上只能藉用其他類似

的資料來替代。又政府雖有許多機關在進行各類資料之統計，但並沒有統一的標準，有時雖使用同一名稱，卻因定義或認定內涵不同而有極大的差異，所以常發現在不同單位統計同一項目，但數值卻相差甚大。是以在從事研究期間，花費相當多時間在資料之蒐集和詢問上。

又雖然林業主管機關為行政院農委會林務局，但私人經營之林地無論是土地現況記錄或政策執行成果，主要皆由縣市政府負責，而林務局是透過縣市政府回報而得知。因此林務局在私人經營之林地資料上相對缺乏，所以本研究在蒐集資料時，便常因為縣市政府資料回報不全，而導致部分資料缺漏。

進而，本研究在競租作物的成本與收益的處理上，礙於統計資料，乃將茶、檳榔、李、桃、梅、梨都視為與稻米同樣為一年生之農作物。然理想狀況下，應將茶、檳榔、李、桃、梅、梨的成本和一般農作物區別，未來如有茶、檳榔、李、桃、梅、梨等栽植成本更詳細之資訊，應能更合理地處理這類兼具農林作物特性之產品。此外，模型中所需的各項產品的彈性是來自其他研究，因而模擬結果亦恐將受限於這些年代相對久遠的資料，理想的作法則是親自完成模型所需的各種產品的彈性，以能配合其他當期的現成資料。

最後，在模擬不同碳吸存補貼之影響時，因模擬 50 年的時間稍嫌過短，而無法適切反應碳吸存補貼效果，因此未來進行相關研究時，可以把模型時間加長，另外森林之期末殘值問題也需要處理。又在私人經營之林地面積相對少的情況下，如何納入國公有林在碳吸存所扮演的角色，也是未來可以考慮的研究方向之一。

附 註

1. 純粹農業部門模型的應用在國外的研究已相對成熟，而針對國內農產品的應用屈指可數，最新的研究比如孫金華、江福松與蔣煜芳（2007）分析漁業用油補貼的影響，及陳吉仲等（2005）探討台灣稻米政策調整的政策影響，應用此一模型於更多元農產品的分析則有待學者持續的投入。
2. 1996 年訂定之「獎勵造林實施要點」第八點第五項：前依台灣省獎勵私人造林實施要點、原住民保留地森林保育計畫、及獎勵農地造林要點，獎勵造林者，自 1997 年度起，依第七點規定發給。即先前參與之獎勵造林者於 1997 年起同全民造林之造林獎勵辦法發給造林獎勵金。
3. 除農地造林、全民造林和平地景觀造林之三大獎勵造林政策外，尚包括每年的一般造林政策、及 2000 至 2001 年由林務局執行的 921 崩場地復育造林及擴大內需加強造林、和 2004 年林務局執行的海岸林造林等相關政策。
4. 全民造林政策之獎勵樹種包括桂竹、蘄竹、長支竹、孟宗竹及輻蓐竹，但在平地景觀造林中，獎勵樹種則未包括竹類。竹筍雖占 2004 年超限利用面積的 4.03%，但竹筍為竹類生產之副產品，且全民造林獎勵政策下，竹類為獎勵造林樹種之一，因此種植竹類是否為超限利用在界定上似乎有點模糊，是以並未將竹筍列為林業之競租作物選定中。且柑橘類和蔬菜由於涵蓋類別較模糊，所以本研究暫未處理。

參考文獻

- 王立志，1996。「氣候變遷對台灣林業的衝擊與適應」，『氣候變遷衝擊評估與因應策略建議研討會論文集』。215-229。
- 任憶安、林俊成，1997。「台灣私有林造林獎勵方式效果的評估—林農反應調查報告」，『台灣林業科學』。12卷，4期，393-402。
- 任憶安、塗三賢、吳萬益，1998。「台灣私有林農對現行修訂之造林獎勵反應的初步調查」，『台灣林業科學』。13卷，2期，139-146。
- 行政院主計處，2005。『農林漁牧普查 94 年初步結果統計表』。台北：行政院主計處。2007年5月1日取自 <http://www.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=16805&ctNode=555>。
- 行政院農業委員會，2004a、2005a。『農業統計年報』。台北：行政院農業委員會。
- 行政院農業委員會，2004b、2005b。『農產貿易統計要覽』。台北：行政院農業委員會。
- 行政院農業委員會，2005c。『農業統計月報』。台北：行政院農業委員會。
- 行政院農業委員會林務局，1990~2005a。『林業統計年報』。台北：行政院農業委員會林務局。
- 行政院農業委員會林務局，1998。『全民造林運動造林手冊』。台北：行政院農業委員會林務局。
- 行政院農業委員會林務局，2005b。『公私有林動態報告』。台北：行政院農業委員會林務局造林生產組。
- 行政院農業委員會林務局，2005c。『國有林事業區租地造林統計表』。台北：行政院農業委員會林務局林政管理組。
- 行政院農業委員會林務局，2005d。『木材價市資訊系統』。台北：行政院農業委員會林務局。2007年5月1日取自 <http://woodprice.forest.gov.tw/forest-wood/index.htm>。
- 行政院農業委員會農糧署，2004，2005a。『農業統計年報』。台北：行政院農業委員會。
- 行政院農業委員會農糧署，2005b。『台灣農業生產成本調查報告』。台北：行政院農業委員會。

- 行政院農業委員會農糧署，2004、2005a。『農業糧食統計要覽』。台北：行政院農業委員會。
- 李國忠，1994。「獎勵農地造林之經濟效果研究」，『台大實驗林研究報告』。8卷，1期，35-68。
- 李國忠、林俊成、陳麗琴，2000。「台灣杉人工林碳吸存潛力及其成本效益分析」，『台灣林業科學』。15卷，1期，115-123。
- 李錫堤，1996。「從地形學的觀點看陳有蘭溪的賀伯風災」，『地工技術』。57期，17-24。
- 汪大雄、鍾旭和、王培蓉，1998。「台灣省私有林經營輔導之研究」，『台灣林業科學』。13卷，1期，55-68。
- 林依瑩，1996。「溫室氣體減量的政策工具對農業部門之影響」。碩士論文，國立台灣大學農業經濟研究所。
- 林俊成，1994。「私有林經營意願與補貼制度之研究」。碩士論文，國立台灣大學森林學研究所。
- 林俊成、李國忠、林裕仁，1999。「柳杉人工林碳貯存效果與適應成本研究」，『台灣大學實驗林研究報告』。13卷，1期，51-60。
- 林俊成、鄭美如、劉淑芬、李國忠，2002。「全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經濟效益評估」，『台灣林業科學』。17卷，3期，311-321。
- 林國慶，2005。「全民造林運動造林苗木性狀調查、效益及政策評估—政策評估」。行政院農委會林務局補助研究計畫。94農發-6.1-務-18。國立台灣大學農業經濟研究所。
- 林國慶、柳婉郁，2007。「全民造林政策之執行成果與政策分析」，『農業與經濟』，38期，32-62。
- 金恆鏞，1992。「森林與地球環境變遷」，『森林資源經營研討會論文集』。1-12。
- 施瑩艷，2005。「台灣山坡地超限利用之研究」。碩士論文，國立台灣大學農業經濟研究所。
- 柳中明、林俊成、劉銘龍，2007。「植林之二氧化碳吸存量估算」，*Global Change and Sustainable Development*。1: 64-72。
- 柳婉郁，2004。「最適造林獎勵金之研究」。碩士論文，國立台灣大學農業經濟學研究所。
- 胡大維，1998。「造林綠化挽救溫室效應危機」，『現代育林』。13卷，2期，4-6。

- 孫金華、江福松、蔣煜芳，2007。「取消漁業用油優惠及獎勵休漁政策對台灣於產業之影響評估」，『農業經濟叢刊』。12卷，2期，261-295。
- 陳吉仲、張靜貞、李恆綺、顏宏德，2005。「台灣稻米政策調整對稻米市場經濟影響之評估」，『農業經濟叢刊』。10卷，2期，163-197。
- 陳天健、王國隆、洪鳳儀、劉東京、蔡修毓、林美聆，2001。「桃芝颱風土石流災害特性與災因檢討」，『中華水土保持學報』。32卷，4期，279-288。
- 陳佳琪，1997。「以造林作為溫室氣體減量工具之經濟分析」。碩士論文，國立台灣大學農業經濟學研究所。
- 陳信雄，1999。「檳榔園對水文環境影響之研究」，『中華水土保持學報』。30卷，4期，247-251。
- 陳樹群、巫仲明，2002。「山坡地開發對洪峰流量影響之研究」，『中華水土保持學報』。33卷，1期，39-46。
- 游繁結，2002。「山坡地開發與水土資源保育之互動」，『環境保護與產業政策研討會論文集』。62-77。
- 焦國模，1999。『中國林業史』。台北：渤海堂。
- 楊明憲，1995。「台灣稻米政策之各時期成效與定位」，『台灣銀行季刊』。47卷，3期，300-328。
- 楊盛行，1997。「台灣地區森林二氧化碳之涵養量估算」，『中華生質能源學會會誌』。16卷，1-10。
- 楊榮啓、馮豐隆、黃俊維，1998。「林業對溫室氣體減量策略規劃及衝擊評估（二）期末報告」。行政院環境保護署補助研究計畫。EPA- 87-FA44-03-75。國立台灣大學森林環境暨資源研究所。
- 楊增華，1993。「本省林業補貼政策之研究」。碩士論文，國立中興大學森林學研究所。
- 路統信，1991。「環境林業與環境綠化」，『科學農業』。7卷，8期，176-186。
- 羅紹麟、林喻東，1981。「台灣省國有林班地放領放租地承利戶經營之分析」，『中華林學季刊』。14卷，1期，21-45。
- 羅紹麟、羅凱安，1996。「私人經營林地永續利用效率之測定—以南投縣內南港溪集水區為例」，『國立中興大學實驗林研究彙刊』。18卷，2期，1-17。

- Adams, R. M., D. M. Adams, J. M. Callaway, C. C. Chang, and B. A. McCarl, 1993. "Sequestering Carbon on Agricultural Land: Social Cost and Impacts on Timber Markets," *Contemporary Policy Issues*. 11: 76-87.
- Akbari, H., 2002. "Shade Trees Reduce Building Energy Use and CO₂ Emissions from Power Plants," *Environmental Pollution*. 116: 119-126.
- Alig, R. J., D. M. Adams, and B. A. McCarl, 1998. "Ecological and Economic Impacts of Forest Policies: Interactions across Forestry and Agriculture," *Ecological Economics*. 27: 63-78.
- Chang, C. C., 1999. "The Carbon Sequestration Cost by Afforestation in Taiwan," *Environmental Economics and Policy Studies*. 2: 199-213.
- Dixon, R. K., J. K. Winjum, and P. E. Schroeder, 1993. "Conservation and Sequestration of Carbon," *Global Environmental Change*. 3: 159-173.
- Lee, H. C., B. A. McCarl, and D. Gillig, 2005. "The Dynamic Competitiveness of U.S. Agricultural and Forest Carbon Sequestration," *Canadian Journal of Agricultural Economics*. 53: 343-357.
- Lee, H. C., B. A. McCarl, D. Gillig, and B. Murray, 2005. "U.S. Agriculture and Forstry Greenhouse Mitigation Over Time," *A chapter in Rural Lands, Agriculture and Climate beyond 2015: Usage and Management Responses*. Edited by Brouwer, F. and B. A. McCarl. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Murray, B. C., B. A. McCarl, and H. C. Lee, 2004. "Estimating Leakage From Forest Carbon Sequestration Programs," *Land Economics*. 80: 109-124.
- Nabuurs, G. J., O. Masera, K. Andrasko, P. Benitez-Ponce, R. Boer, M. Dutschke, E. Elsiddig, J. Ford-Robertson, P. Frumhoff, T. Karjalainen, O. Krankina, W. A. Kurz, M. Matsumoto, W. Oyhantcabal, N. H. Ravindranath, M. J. Sanz Sanchez, and X. Zhang, 2007. "Forestry," in *Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, and L. A. Meyer. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sedjo, R. A., 1989. "Forest to Offset the Green-house Effect," *Journal of Forest*. 87: 12-5.

- Wang, T. F., P. C. Lee, and C. Y. Tseng, 2001. "The Economic Impact Analysis of Air Pollution Prevention in Taiwan: The Application of a CGE Model," Paper Presented at *2001 Academic Symposium of Economics, Management and System Analysis*. Taipei, September 21.
- Zepek, C. A. and G. E. Shively, 2003. "Measuring the Opportunity Cost of Carbon Sequestration in Tropical Agriculture," *Land Economics*. 79: 342-354.

附表 1 歷年造林政策及規定

修訂時間	政 策		法 規	面積限制	造林獎勵對象	款 項	每公頃造林獎勵標準	獎 勵 金 小 計	獎 勵 合 計
1983			台灣獎勵私人造林實施要點	0.1 公頃以上及可	私有林地	造林獎勵金	1,200 元	每公頃 1,200 元	每公頃 1,200 元
1991	農地造林		修正台灣獎勵私人造林實施要點、獎勵農地造林要點	0.1 公頃以上及可	私有林地	造林獎勵金	第 2 年 2 萬；第 4 年 1.2 萬	每公頃 32,000 元（6 年）	每公頃 32,000 元（6 年）
						休耕補貼	第 2 年 2 萬；第 4 年 1.2 萬	每公頃 32,000 元（6 年）	每公頃 131,000 ~ 329,000 元（6 年）
							符合稻田轉作標準，每期 24.75 萬；不符合稻田轉作標準，每年 16.5 萬	每公頃 99,000 ~ 297,000 元（6 年）	
1994	1990.07.01 ~ 1996（1997 併入全民造林）		修正台灣獎勵私人造林實施要點	0.1 公頃以上及可	私有林地、私有農牧用地、公有山坡地、國公有林租地、原住民保留地	造林獎勵金	第 1 年 5 萬；第 2~6 年 2 萬	每公頃 150,000 元（6 年）	每公頃 150,000 元（6 年）
1996	全民造林		全民造林運動綱領暨實施計畫、獎勵造林實施要點	0.1 公頃以上及可	私有地、原住民保留地	造林獎勵金	第 1 年 10 萬；第 2~6 年 3 萬；第 7~20 年 2 萬	每公頃 530,000 元（20 年）	每公頃 530,000 元（20 年）
					國公有林租地	造林獎勵金	第 1 年 10 萬；第 2~6 年 3 萬；第 7~20 年 1 萬	每公頃 390,000 元（20 年）	每公頃 390,000 元（20 年）
					退輔會、國營企業	造林獎勵金	第 1 年 10 萬；第 2~6 年 3 萬	每公頃 250,000 元（20 年）	每公頃 250,000 元（20 年）
2002	平地造林		獎勵造林實施要點、水旱田利用調整後續計劃	毗連 2 公頃或同一地段毗鄰 5 公頃以上	私有農牧用地	造林獎勵金	第 1 年 10 萬；第 2~6 年 3 萬；第 7~20 年 2 萬	每公頃 530,000 元（20 年）	每公頃 1,610,000 元（20 年）
						休耕直接給付	每期 2.7 萬	每公頃 1,080,000 元（20 年）	
					國公有租地	造林獎勵金	第 1 年 10 萬；第 2~6 年 3 萬；第 7~20 年 1 萬	每公頃 390,000 元（20 年）	每公頃 1,470,000 元（20 年）
						休耕直接給付	每期 2.7 萬	每公頃 1,080,000 元（20 年）	
					台糖	造林獎勵金	第 1 年 10 萬；第 2~6 年 3 萬；第 7~20 年 1.7 萬	每公頃 488,000 元（20 年）	每公頃 488,000 元（20 年）

資料來源：本研究。

Welfare Evaluation of Subsidy for Afforestation and Carbon Sequestration on Agricultural and Forestry Sectors in Taiwan

Heng-Chi Lee*, Pei-Ing Wu**, Chih-Pei Shen***, and
Je-Liang Liou****

The purpose of this study is to construct a model in which accounts for the special forestry land property right regime and the competition between agricultural and forestry land utilization in Taiwan. The model considers also the dynamic long-term tree growth and afforestation subsidy policy. The welfare on agricultural and forestry sectors comparison is made between that without policy and with afforestation subsidy and further with different levels of carbon sequestration subsidies.

The results indicate that the welfare will increase 0.8 billion while change from no policy to current afforestation subsidy policy. The welfare will further increase 0.8 ~ 1 billion when there is different levels of carbon sequestration subsidies, with 100 NT \$ per ton to 1,200 NT \$ per ton, along with afforestation subsidy policy. The marginal welfare of carbon sequestration with 100 NT \$ per ton is about 10 millions NT \$ and will increase to 140 millions NT \$ with 1,200 NT \$ per ton of carbon price.

* Assistant Professor, Department of Logistics Management National Kaohsiung First University of Science and Technology.

** Professor, Department of Agricultural Economics National Taiwan University. (Corresponding Author)

*** Research Fellow, Accounting and Statistics of Executive Yuan Directorate-General of Budget.

**** Ph.D. Candidate, Department of Agricultural Economics National Taiwan University.

This paper partially funded by the National Science Council of Taiwan through project NSC 95-2415-H-317-002 is sincerely appreciated.

This shows that the impact of carbon sequestration subsidy on social welfare is still falling in the monotonic increasing domain. Moreover, with additional carbon sequestration subsidy, farmers will postpone harvest.

Keywords: Afforestation subsidy policy, Positive externality, Mathematical programming, Forest and agricultural sector optimization model, Competing crops, Policy simulation