

國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系
碩士論文

Department of Forestry and Resource Conservation

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

台灣利用短輪伐期木質作物

生產生質酒精之成本效益分析

A Cost-Benefit Analysis on the Use of Short Rotation
Woody Crops for Producing Bio-Ethanol in Taiwan

李偉嘉

Lee Wei-Chia

指導教授：鄭欽龍 博士

Advisor: Chinlong Zheng, Ph.D.

中華民國 98 年 1 月

Jan, 2009

謝誌

經過許多嘗試與錯誤，論文最後終於是順利完成了，這段學習的歷程，實為我最寶貴的人生經驗之一。畢竟只有在陷入躊躇與掙扎的時候，我們才能明白自己有多脆弱，也才能了解自己有多堅強。

於此同時，我方才體認到自己終究受惠於人太多，亦得以更深切地了解世界運作。由衷感謝這過程中所有我關心以及關心我的人。無論是師長的提攜關懷、家人的諒解體恤以及朋友的陪伴支持。我真的非常非常感激你們，也慶幸在我人生的旅途中能夠有你們的參與。

誠如本文動機，我相信所謂行善光以愛心仍是不足。在滿足個人私利的同時達成社會福利的增加，才能將我們的愛心散佈的更廣。而我也將朝這個方向努力，學習以正確的方式過人生，試著讓所謂的夢想實現，藉以表達我受惠於師長、家人與朋友乃至我所生活之世界的由衷感謝。



偉嘉 2009.1

摘要

生質酒精為可再生性資源，能作為汽油的替代燃料，成為有效舒緩能源、環境問題之對策。本文旨在擬定並評估以短輪伐期木質作物製造生質酒精的經營計畫。首先，分別根據銀合歡、孟宗竹與相思樹三樹種之特性，擬定林農木竹材生產供作廠商製造生質酒精之經營方案。並以成本效益分析將經營方案之投入成本與產出效益貨幣化，藉以評估三經營方案之淨效益現值、益本比、內部報酬率，再就重要變數行敏感度分析，最後參照評估結果擬定政府能源政策措施。

本研究顯示三經營方案於人力與資本等投入集約程度依序為銀合歡、孟宗竹與相思樹；單位面積土地酒精之產出效率依序為孟宗竹 6.12 公秉/公頃/年、銀合歡 4.77 公秉/公頃/年與相思樹 4.10 公秉/公頃/年；三種木竹製造酒精之投資成本效益淨現值依序為銀合歡 130.3 百萬元、孟宗竹 7.5 百萬元與相思樹-514.2 百萬元。本研究顯示，擬在台灣利用短輪伐期木質作物發展氣化合成生質酒精，以有限土地生產最多國內生質酒精為目標時，孟宗竹經營方案較為適合；而在以投資效益最大為目標時，銀合歡經營方案則較為合適。就敏感度分析可知，木竹材產量與酒精價格對經營利潤影響顯著，其中又以銀合歡經營方案較孟宗竹經營方案能承受更高的風險。在比較能源政策措施上，政策目標為酒精添加 3% 時，以補貼政府需負擔 25.28 億元的國庫支出，以強制添加汽油消費者需增加負擔 21.12 億元。

關鍵詞：短輪伐期木質作物、生質酒精、生物能源、成本效益分析、補貼、強制添加

Abstract

Bioethanol is a renewable resource as petroleum substitution, relieving the energy and environmental problems effectively. The purpose of the thesis is devising and assessing the management plan which is using short rotation woody crops on gasification and catalyst of bioethanol in Taiwan. At first, according to the characteristics of *White Popinac* (*Leucaena leucocephala*), *Mosochiku* (*Phyllostachys pubescens*) and *Taiwan Acacia* (*Acacia confuse*), and to draw up the business plan for forestry farms produce timber and bamboo for bioethanol manufacturers to produce bioethanol. Second, Using cost benefit analysis turns input cost and output benefit into price, then assess net present value, benefit-cost ratio, internal rent to these three business plans; furthermore, choose the important parameters to perform sensitivity analysis. In the end, consult assessment result to draft government energy policy.

This research shows the gradation of these three business plans in intensive farming is *White Popinac*, *Mosochiku* and *Taiwan Acacia*; the gradation of Ethanol production in unit area is *Mosochiku* 6.12 kl/ha/y, *White Popinac* 4.77 kl/ha/y, *Taiwan Acacia* 4.10 kl/ha/y. The gradation of cost benefit analysis in net present value is *White Popinac* 130.3 million dollars, *Mosochiku* 7.5 million dollars, *Taiwan Acacia* -514.2 million dollars. By sensitive analysis, timber, bamboo production and bioethanol price both are important parameters. In addition, *White Popinac* business plan with better risk endurance than *Mosochiku*. According to energy policy, when the goal of policy is adding 3% ethanol to gasoline, government need to spend 25.28 billion dollars on subsidies and gasoline and consumers of gasoline have to increase 21.12 billion dollars.

Key words : short rotation woody crops, bioethanol, bioenergy, cost benefit analysis, price subsidy, consumption mandate

目錄

第一章 緒論.....	1
第一節、研究背景及問題.....	1
第二節、研究目的.....	3
第三節、研究架構.....	4
第二章 文獻回顧.....	5
第一節、短輪伐期木質作物經營之研究.....	5
第二節、生質酒精製造經營之研究.....	8
第三節、酒精產業政策分析.....	14
第三章 研究理論與方法.....	20
第一節、成本效益分析理論.....	20
第二節、研究方法.....	21
第四章 生質酒精經營計畫案例分析.....	30
第一節、銀合歡經營方案.....	30
第二節、孟宗竹經營方案.....	39
第三節、相思樹經營方案.....	47
第四節、方案比較.....	54
第五節、政策措施分析.....	57
第五章 結論.....	69
參考文獻.....	71
附錄.....	76

表目錄

表 4-1	銀合歡經營方案投入產出.....	31
表 4-2	銀合歡經營方案投入產出價值表.....	32
表 4-3	銀合歡經營方案整體現金流量表.....	33
表 4-4	銀合歡經營計劃評估結果.....	36
表 4-5	銀合歡經營計劃敏感度分析.....	37
表 4-6	孟宗竹經營方案投入產出.....	40
表 4-7	孟宗竹經營方案投入產出價值表.....	41
表 4-8	孟宗竹經營方案整體現金流量表.....	42
表 4-9	孟宗竹經營計劃評估結果.....	45
表 4-10	孟宗竹經營計劃敏感度分析.....	46
表 4-11	相思樹經營方案投入產出.....	48
表 4-12	相思樹經營方案投入產出價值表.....	50
表 4-13	相思樹經營方案整體現金流量表.....	51
表 4-14	相思樹經營計劃評估結果.....	54
表 4-15	三方案經營計劃評估結果.....	55
表 4-16	燃料市場供給需求函數式.....	60
表 4-17	政策評估結果.....	65
表 4-18	政策措施成本.....	66
表 4-19	政府介入對經營方案之影響.....	66
表 4-20	政策措施對林業部門的影響.....	67

圖目錄

圖 1-1 研究架構.....	4
圖 2-1 氣化合成生質酒精生產流程.....	10
圖 2-2 生質酒精生產成本.....	10
圖 2-3 內布拉斯加州平減後未稅酒精躉售價格.....	12
圖 2-4 各階段生質酒精政策措施.....	16
圖 3-1 研究流程圖.....	22
圖 4-1 車用混合燃料市場經濟模型.....	58
圖 4-2 政府未干預燃料市場經濟模型.....	62
圖 4-3 補貼經濟模型.....	63
圖 4-4 強制添加經濟模型.....	64



第一章 緒論

第一節、研究背景及問題

能源供給與溫室效應為現今全球環保及經濟之重要議題，世界各國亦致力於尋求合適的環境資源管理策略。生質能源 (bio-energy) 因具備可再生性資源 (renewable resource) 乾淨、永續之特性，成為有效舒緩能源、環境問題之對策。而生質能源中，纖維、澱粉或醣類含量高之生質能源作物 (biomass energy crops) 可製成生質酒精 (bio-ethanol)，做為汽油的替代燃料。根據國際能源協會 (International Energy Agency ; IEA) 指出全球生質酒精產量自 2000 年至 2005 年成長了 95%，為目前應用最普及與附加價值高之生質能源利用方式，且預估在石油價格攀升與全球暖化下，各國為了減少對石油依賴及達成京都議定書規範目標，對於生質酒精需求將持續增加。

然儘管生質酒精具備上述平抑石油價格與減少溫室氣體排放等多重益處，目前生質酒精在生產使用上仍有潛在危機與困境。根據聯合國農糧組織 (Food and Agriculture ; FAO) 2007 年的報告指出，生質能源作物的開發將可能對人類和環境帶來負面影響，如森林資源破壞、糧食嚴重短缺等問題。當生質能源作物變成一種具有利益的經濟作物，為滿足商機，許多原本生產糧食的農地，甚而是原本的森林及雨林，將遭受轉作生質能源作物之威脅，從而衍伸出複雜的環境、社會問題。以目前美國、巴西兩個最大的酒精生產國而言，皆是利用玉米、甘蔗等澱粉、醣類作物為主要原料，此生質能源作物便會佔用或取代原本種植糧食作物的土地，導致糧食價格上漲。

基於上述原物料供應不足及糧食轉作等問題，以纖維素為生質酒精原料來源將成未來趨勢。因纖維素製成的酒精具有原料成本低、來源多樣化、原料開發過程中較不會與糧食生產衝突等優勢，可有效解套糧食、生質能源原料供給不足的困境。常見的原料來源包括木本植物的木竹殘材、紙漿廢液 (pulp waste liquid) 和薪碳材 (fuelwood)；草本植物的農作剩餘與草料等 (NREL, 2007)。其中利用農

作剩餘當做生質酒精的原料，雖然成本較低，但受限於物料供給之數量與穩定性。因此，考量生質酒精原料供給之經濟成本、可獲得性以及環境衝擊等，藉由經營短輪伐期木質作物 (short rotation woody crops ; SRWC)，建立完整生質酒精原料供應鍊，供給充裕穩定之纖維素原物料，提升纖維素生質酒精之生產效率與經濟價值，為深具潛力之因應方案。

利用發酵技術以纖維素生產生質酒精的技術目前尚未成熟，一般量產係採取在石化工業已廣泛運用之熱化學 (thermochemical) 技術，以氣化法 (gasification) 在缺氧高溫環境下將纖維素分解，產生能源合成氣體 (syngas)，再將產出的能源合成氣體催化製成生質酒精 (NREL, 2007)。氣化合成技術可降低纖維素製成生質酒精的技術門檻與成本，若能配合短輪伐期木質作物穩定供應原物料，將可使生質酒精產業在商業上順利運作。

台灣森林資源豐富可提供充裕之纖維素原物料，但目前林地多數因市場條件而閒置。若能在合乎環境友善性前提下，合理經營短輪伐期木質作物配合酒精廠製造生質酒精，將可增加森林之附加價值，提供充裕穩定之生質酒精纖維素原料來源，並促進台灣生質酒精產業之發展。台灣過去為提供紙漿材與薪碳材，已有種植速生樹種之經驗，發展出以提高單位面積生物質 (biomass) 產量為目標的營林方式。

參考過去研究結果，本研究選取已有種植試驗證明能適應台灣地理氣候環境之三種速生樹種包含銀合歡、孟宗竹與相思樹，並依據此三種樹種特性以及營林方式，比較各經營計畫在勞力、資本、土地與時間等投入利用上集約程度之差異，做為生質酒精產業經營計畫擬定評估之對象。歸結上述氣化合成酒精、短輪伐期木質作物經營的益處加諸台灣環境資源利用現況，本研究將以成本效益與政策分析，評估在台灣利用銀合歡、孟宗竹與相思樹三種短輪伐木質作物氣化合成生質酒精之可行性、優缺點與風險。

第二節、研究目的

本文“台灣利用短輪伐期木質作物氣化合成酒精之探討”研究目的為擬定及評估生質酒精產業整體的經營計畫。從林農經營生產短輪伐期木質作物，至酒精廠商以此木竹材原料製造生質酒精。強調在不與糧食作物競爭且能穩定、充裕供給的情形下以閒置林地生產原物料，發展氣化合成法生產生質酒精。

研究中將探究不同營林策略，基於資本、土地與時間等經營要素投入集約程度之差異，從而衍伸木竹材產出收穫量及最終酒精販售效益之落差。故各方案將依據銀合歡、孟宗竹和相思樹三速生樹種之生物特性與過去栽植經驗，擬定因應造林伐採經營辦法。從而估算各方案之生產成本、收穫量、販售價格與轉換為酒精的效率等差異。藉此比較以銀合歡、孟宗竹或相思樹經營計畫，生產木竹材纖維素原物料供做生質酒精三方案之財務基礎，從中尋求具較佳生產效率與成本效益的方案，供作擬定生質酒精產業經營計畫之參考。

本研究並考量生質酒精產業經營計畫期程較長，在長時間下外在環境變遷將增加經營計畫之風險與不確定性，方案評估需就環境變遷及生質酒精產業所受影響做合理推估。故本研究針對重要變素包含木竹材產量、林農工資、運作成本與酒精價格四者行敏感度分析，以瞭解各變數對經營方案之影響，並求減少推行經營計畫之風險。

另考量生質酒精產業具有環境保護、國家安全與社會福利等正面外部效果，政府為有效落實生質酒精發展策略，可藉由能源政策措施扶植生質酒精產業初期發展。而生質酒精能源政策主要包含有從價經濟誘因之補貼與從量行政管制之強制添加，故本研究擬探究政府研擬能源政策措施時，對於生質酒精產業與整體燃料市場所可能產生的效果，藉此分析合適之生質酒精能源政策措施，以利生質酒精產業發展與總體社會福利之創造。

第三節、研究架構

本研究架構將先簡述利用短輪伐期木質作物發展氣化合成法生質酒精之願景。其次文獻回顧分別針對林農、酒精廠商與整體產業加以探討。從中歸結擬定銀合歡、孟宗竹、相思樹三樹種發展氣化合成纖維素生質酒精之經營方案。並以成本效益中的現金流量表作為此生質酒精產業財務之分析基礎，配合政府生質酒精能源政策措施分析，最後總結台灣發展氣化合成生質酒精之潛力與建議。整理如下圖 1-1。

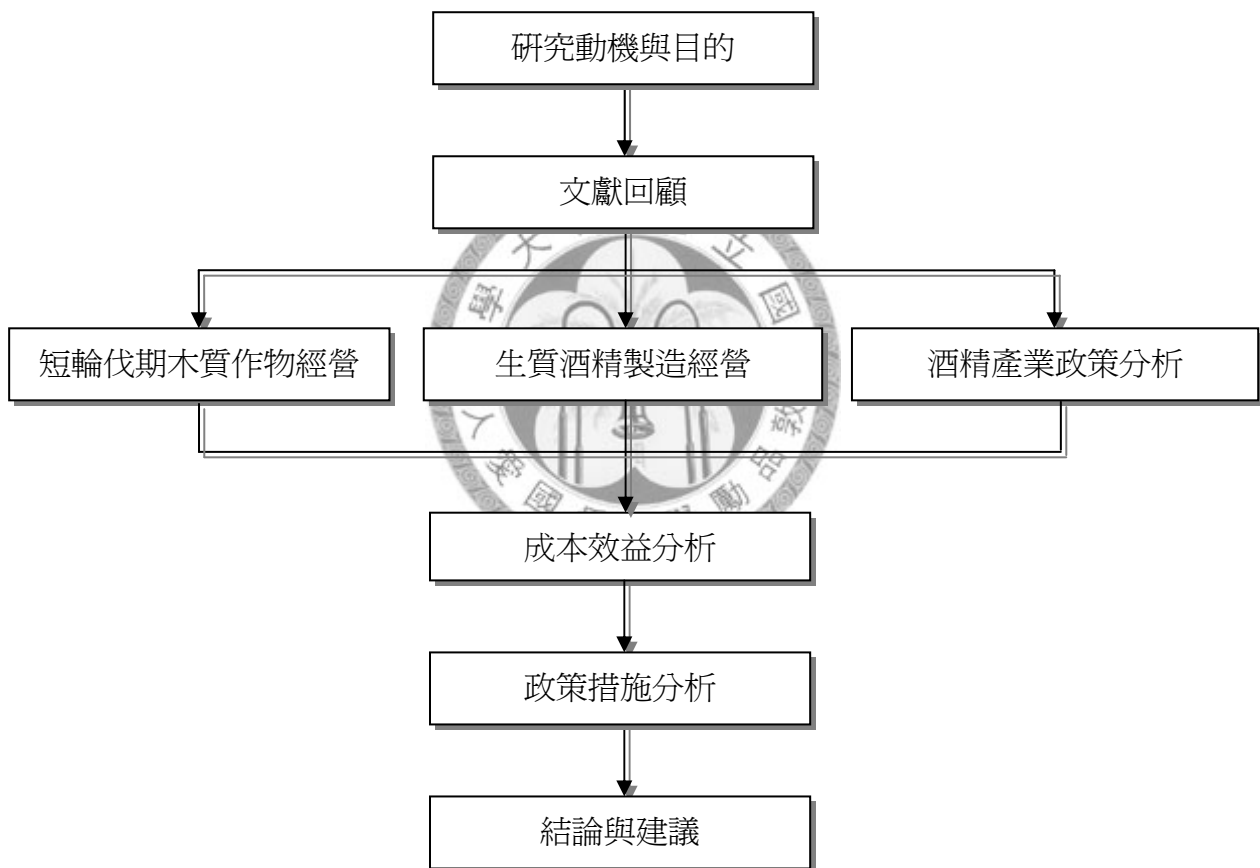


圖 1-1 研究架構

第二章 文獻回顧

本研究欲擬定及探討台灣經營生質酒精產業之策略，並著眼林農生產木竹材、酒精廠商製造生質酒精形成一整體產業鏈。故文獻回顧將依此區分為三個部分包含有：第一部份短輪伐期木質作物經營之研究；第二部分生質酒精製造經營之研究；第三部分酒精產業政策分析。藉此擬定分析要點及辦法，茲分述如下。

第一節、短輪伐期木質作物經營之研究

短輪伐期木質作物經營是以類似農耕地集約投入，提高單位面積林木收穫量的營林方式。過去多應用於生產工業用材與薪炭材，而今因生質燃料 (bio-fuel) 具備能源替代、環境友善、國家安全、促進鄉村經濟等優點，在慮及能源永續發展和石油價格持續升高的情形下，將短輪伐期木質作物以生物精鍊技術 (bio-refined) 轉化為生質燃料成為未來發展趨勢 (Demirbas, 2007)。Kimmins (1997) 在森林生物能源生產一文中指出，短輪伐期、同齡林、單一栽培、密集種植生物能源作物，能有效率地提供可再生能源取代化石燃料，創造環境效益。Demirbas (2001) 亦指出，傳統以伐木殘材或農作物剩餘當成生質物料來源的方式，將受限於物料來源供給之數量與穩定性。故在未來生質能源發展策略可採取集約經營系統，以短輪伐期木質作物提供穩定之生質燃料來源。文中亦提及森林經營短輪伐期作物相較於過去以副產品當作生質物料來源的方式，將面對生產成本較高之劣勢。因此研擬有效率之經營系統，提高短輪伐期木質作物單位面積產量與降低生產成本，是發展以森林為基礎之生質能源利用方式的重要關鍵。

在選定短輪伐期木質作物經營物種與方法時需慮及作物之食用性、適於貧瘠土地生長、生育期短、生產力高、多年生、繁殖容易、氣候適應性強、抗病蟲害、管理容易、機械化採收搬運與高轉化效率等特性 (古森本, 2008)。Donald (2006) 亦指出短輪伐期木質作物造林時需注意空間、樹種、繁殖方法、棲地準備、雜草經營、營養、成長、收穫等項目。並可從實務操作研究、生理生態學知識、繁殖

基因生物科技等三個面向提供改善造林技術、改善種苗培育所需之資訊，最終達成增進短輪伐期木質作物生產效率。Donald (2005) 提出影響短輪伐期木質作物產量之因素，包含有種植密度、物種、地位級、林地整治、種植方式、病蟲害、輪伐期等。Tuskan (1998) 則認為在未來發展短輪伐期木質作物需注意，長期之施肥與灌溉、培育合適之植株、發展有效率之伐採集運方式。

考量上述影響短輪伐期木質作物經營的重要變項，就本研究文獻回顧所及，國際上常用之短輪伐期木質速生樹種包含有楊木 (*Populus sp.*)、柳樹 (*Salix sp.*)、桉樹 (*Eucalyptus sp.*)、銀合歡 (*Leucaena sp.*) 等。以具體的實驗結果而言，Hitofumi *et al.* (2007) 依據樹種與輪伐期之不同，在馬來西亞以 4 年生為輪伐期集約經營大葉相思 (*Acacia mangium*) 收穫量可達 21.0 公噸/公頃/年，平均木質作物收穫量則為 8.2 公噸/公頃/年。另 Sochacki (2007) 在澳洲依據不同樹種、種植密度、地位級進行比較。實驗物種包含兩種桉樹 (*Eucalyptus globules*、*Eucalyptus occidentals*) 以及一種松樹 (*Pinus radiate*)。依試驗結果在最佳地位級與栽植密度下三樹種分別可得最大收穫量為 16.6、22.2 與 15.4 公噸/公頃/年。Graham *et al.* (1992) 則指出美國短輪伐期木質作物平均產量介於 9 至 15.7 公噸/公頃/年之間，且依據各區域之地位氣候條件不同產量亦有明顯差異。在美國以 4 至 7 年為輪伐期經由灌溉與施肥可達 20 公噸/公頃/年。然而在非集約經營的情形下，產量可超過 10 公噸/公頃/年者不多。

台灣種植速生樹種之生物質產量，在未集約經營的情形下枝幹部生物量多在 10 公噸/公頃/年左右，各試驗結果受立地條件、樹種及營林方式等影響甚鉅。銀合歡以五年為輪伐期，依據劉宣成、高毓斌 (1988) 綜合多試區平均為 9 公噸/公頃/年。程煒兒、沈慈安 (1987) 在恆春試區可達 18.42 公噸/公頃/年。孟宗竹以四年為輪伐期，依據劉宣成、高毓斌 (1988) 綜合多試區為 10.5 公噸/公頃/年。王子定、高毓斌 (1980) 在溪頭第三營林區為 12.9 公噸/公頃/年。相思樹以二十年為輪伐期，劉慎孝、林子玉 (1968) 綜合多試區編制立木材積表，平均材積生長量 8.7 立方公尺/公頃/年。重量材積轉換係數若以林裕仁等 (2002) 台灣地區主

要用材與碳含量測定之結果 0.86 換算，則為 7.5 公噸/公頃/年。林國銓等 (2007) 在三義鄉大安事業區 5 林班測定 43 年生相思樹林得平均生物量為 5.0 公噸/公頃/年。

在探討經營短輪伐期木質作物之成本價格上，Tharkan *et al.* (2005) 評估於紐約經營短輪伐期柳樹，將產業生產鏈區分為林農、木材中盤商與廠商三部分，並將各階段單位施業成本與生產收益以財務會計帳列出作為成本效益分析之計算基礎，依其估算林農在目前之成本價為 43.7 美元/公噸，但在預估產量增加 16.9% 下成本價則可降為 39.0 美元/公噸。Kszos *et al.* (2000) 指出當美國木質生質能源原物料所能負擔之到廠成本 (delivered cost) 超過 50 美元時，經營木質生質能源作物 (bioenergy crops) 便可成為提供原物料之最主要來源。

在探討林農經營短輪伐期木質作物之財務經濟效果上，Koh & Hoi (2003) 評估馬來西亞土地利用與生質能源供應問題，便應用成本效益分析來評估以八年為輪伐期栽植大葉相思 (*Acacia mangium*) 之經營計畫案。依其估計在折現率 12% 下計畫案之淨效益現值為 995 馬幣/公頃、益本比為 1.09、內部報酬率為 13.68%。Updegraff *et al.* (2004) 評估美國明尼蘇達州農地轉植以五年為輪伐期的混生楊木 (Hybird Poplar)，應用蒙地卡羅分析來評估轉作之效益，模擬不同狀況出現之機率及相對應的結果，文中依由農地轉植為混生楊木的比例區分為 10%、20% 與 30% 三種程度，並分別求得最可能出現的單位轉植效益為 23、20 與 20 美元/公頃以及平均效益為 50、45 與 46 美元/公頃。

另有針對林農營林集約程度進行比較探討，Elauria *et al.* (2003) 評估菲律賓種植十二年短輪伐期之雲南石梓 (*Gmelina arborea*) 以及二十五年長輪伐期之桃花心木 (*Mahogany*) 在折現率 12% 下，兩者在財務成本效益上之差異。文中以會計方式詳細列出單位成本包含有種苗成本 3 菲幣/每株、整地造林成本 5000 菲幣/公頃與處理成本 200 菲幣/立方公尺等。就其評估結果短輪伐期經營計畫之成本現值 40,201 菲幣/公頃較長輪伐期 37,664 菲幣/公頃高。但因產出增加，最後淨現值短輪伐期為 5,837 菲幣/公頃則較長輪伐期 4,499 菲幣/公頃高。文中並估算短和

長輪伐期之益本比分別為 1.14 與 1.12；內部報酬率分別為 15.4%與 12.7%；單位生產成本分別為 255 菲幣/公噸與 269 菲幣/公噸。Faúndez (2004) 將造林成本分為種植、收穫、土壤成本。文中指出在智利集約利用以五年為輪伐期之柳樹及以八年為輪伐期之楊木單位能源生產成本介於 3.15-3.68 美元/十億焦耳，高於非集約經營以十六年為輪伐期之松樹及以十年為輪伐期之桉樹單位能源生產成本 1.05-1.58 美元/十億焦耳，然在單位土地能源生產力則以集約利用者為高。

綜觀上述，短輪伐期木質作物營林方式對於森林經營上的意義，乃在以積極集約的經營方式，提高林地單位面積產量，改善林地結構與現有林地利用情形。然而集約營林固可促進林產增加，但同樣需付出較高的勞務與資本投入。因此台灣若欲推行短輪伐期木質作物發展生質能源，便需了解在台灣現行條件下適合之營林方式與集約程度，並藉此選擇短輪伐期木質作物樹種與經營辦法。在探討短輪伐期木質作物之經濟效果時，在成本面需考慮造林、伐木集材、運輸各施業成本。就效益面可評估樹種、施肥、種植密度等施業方式對短輪伐期木質作物產量之影響。期能藉由在成本與效益上之完整評估，擬定合適台灣林農之短輪伐期木質作物經營方案，提供台灣發展生質酒精充裕且經濟之物料來源。

第二節、生質酒精製造經營之研究

Demirbas (2007) 在探討現今生質燃料利用趨勢一文中指出，相較於傳統生質能直接燃燒利用，以現代化利用方式將生質作物轉化為生質燃料，更具有潔淨、高效率及附加價值高之優勢。而目前使用之生質燃料主要包含有合成氣、生質酒精、生質柴油、生質甲醇、生質氫氣等，其中又以生質酒精為最廣泛利用且具高附加價值之生質燃料。而在汽油中添加酒精不僅可替代汽油使用，還可取代汽油中污染環境的含鉛添加劑甲基第三丁基醚 (MTBE；methyl tert-butyl ether) 並能改善燃燒減少引擎內的碳沈澱和一氧化碳等不完全燃燒 (Malça & Freire, 2006)。Alzate & Toro, (2006) 則進一步強調發展生質酒精，利用木質纖維素物料

可提供國際上生質燃料日益增加之需求量，有效減緩溫室效應。Kim & Dale (2004) 亦指出相似觀點，充分利用木質纖維素物料將可提高現行生質燃料之供應量達 16 倍，其中以亞洲為最具潛力之區域。因此，利用以纖維素為原料的氣化合成生質酒精技術配合短輪伐期木質作物之經營，實深具發展潛力及經濟、環境上之效益。

依據美國自然資源創新運用 (Innovative Natural Resource Solutions ; INRC) 在 2006 年的報告指出，發展木質纖維素作物生質能源的瓶頸包含有：目前技術多存於實驗階段；生質酒精建廠為達規模經濟需投入較高的固定成本；但缺乏成本合理且穩定供應之原物料來源，以及欠缺與傳統石化產業供應鏈合作關係。因此，在推廣纖維素生質酒精至商業運用上仍面臨較大風險。為此，有關纖維素氣化合成酒精在技術及經濟上的可行性，文獻其評估重點在於：氣化合成廠之技術細節、轉換效率、成本規模與市場競爭等。

目前在氣化合成纖維素生質酒精領域已有荷蘭 (Technische Universiteit Eindhoven ; TU/e)、加拿大 (Ensyn Group Inc. ; EGI)、美國 (Power Energy Fuels Inc. ; PEFI)、(Bioengineering Resource Inc. ; BRI)、國家再生能源實驗室 (National Renewable Energy Laboratory ; NREL) 等機構投入生質酒精製程改善的研究，並有建立小規模展示工廠，藉此測試運作成效以及吸引投資人，以利後續擴大生產規模行商業生產。由上述發展趨勢可顯示氣化合成纖維素酒精已逐步邁向商業化階段。台灣目前規劃以纖維素為原物料之生質酒精廠商僅台灣纖維酒精公司在 2008 年 9 月於屏東設廠，未來原物料以狼尾草配合氣化合成技術，預計年產 4-4.5 萬公秉酒精 (台灣纖維酒精公司，2008)。

在技術細節與轉換效率上，依據 NREL 報告指出，氣化合成技術可分為物料處理、氣化分解、冷卻淨化、酒精合成和酒精分離五個步驟如下圖 2-1 所示。其中氣化合成法利用氣乾原物料轉換為酒精之效率約為 30%~40%，而氣化合成酒精受技術與原物料特性所影響，實際轉換率需視原物料之含碳量與操作情形而

定。就 NREL 2007 年技術報告書實驗數據，在原物料含碳率為 50.88%時，氣化合成酒精轉換效率為 39%。

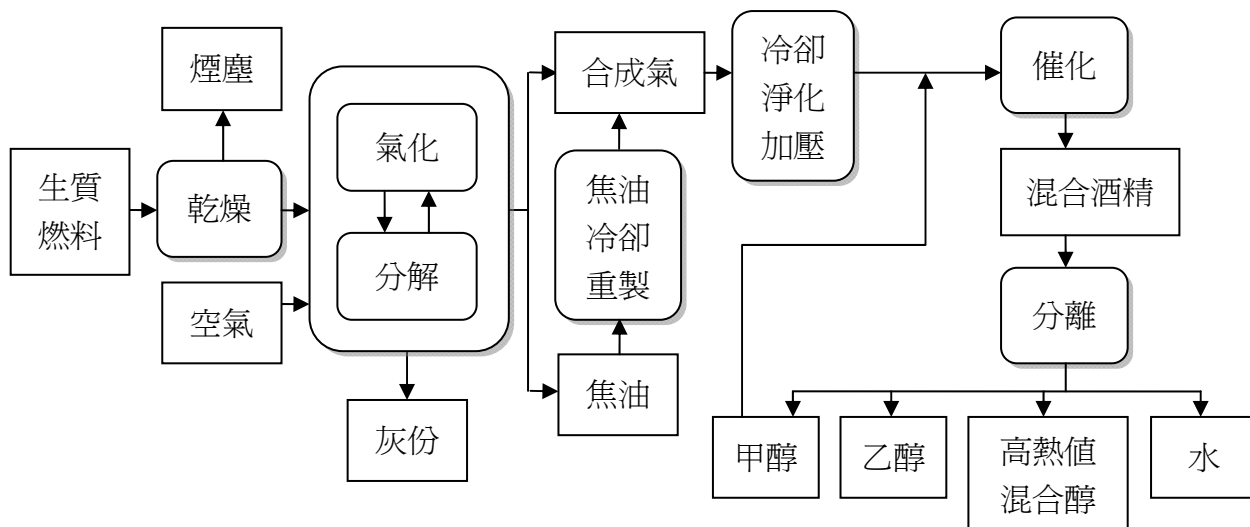


圖 2-1 氣化合成生質酒精生產流程

資料來源：整理自NREL (2007)

在酒精生產成本方面，依據國家可再生能源實驗室報告書，氣化合成生質酒精成本可從廠房建立至實際運作區分為資金成本與運作成本，資金成本又可細分為設備成本與間接成本，運作成本則可細分為操作成本與固定成本。茲將成本細項整理如下圖 2-2 所示。另依國家可再生能源實驗室報告書計算在建廠規模 70 萬噸/年下，資金成本為 137,200 萬美元，報告中並假設原物料進廠成本為 35 美元/公噸。

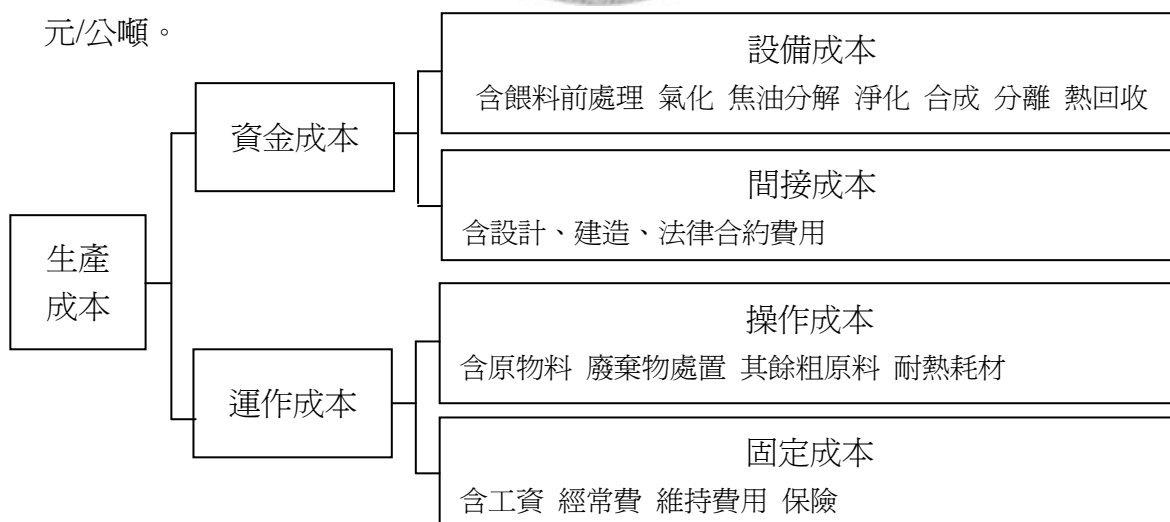


圖 2-2 生質酒精生產成本

資料來源：整理自NREL (2007)

生質酒精生產成本計算方法除了上述的細項陳列，亦可以攤提的方式來估算每單位生質酒精生產成本。即計算生產每單位生質酒精在資金與運作等所需投入之成本，茲就文獻回顧所及整理過去相關生質酒精單位生產成本如下表 2-1。

表 2-1 生質酒精生產成本

單位：台幣元/公升

國家	美國	美國	巴西	德國
原物料	纖維素	玉米	甘蔗	小麥
資金成本	5.8 (50)	1.6 (17)	2.0 (27)	3.4 (22)
原物料成本	2.6 (22)	4.2 (45)	4.1 (55)	9.1 (58)
其餘運作成本	3.4 (29)	3.6 (38)	1.3 (18)	3.1 (20)
總成本	11.6 (100)	9.4 (100)	7.4 (100)	15.6 (100)

資料來源：整理自USDA (2006)

註：其餘運作成本是減去副產品所得收益後之數字

括號內表百分比(%)

從上表中可知，各區域生質酒精生產成本懸殊且原物料成本為生產成本之主要來源。除以纖維素為原物料的製程外，原物料成本皆占總成本的 40%以上。而纖維素原物料成本偏低是因案例中原物料來源乃採取農作廢棄物與伐木殘材等，故可大幅降低原物料成本。值得注意的是，若欲以短輪伐期木質作物的營林方式生產充裕穩定之纖維素原物料時，成本勢必高於回收纖維素廢棄物，在此狀況下考量較高的資金成本，以纖維素為原物料是否仍具優勢，則需進一步評估。此外巴西以甘蔗發酵為基礎的製程每單位生質酒精生產成本最低，可歸因於巴西自 1975 年起，政府便已投入生質酒精產業扶植，累積了豐富經驗、技術與基礎設施，且巴西之氣候、土地與人力資源等皆具生產生質酒精之優勢，可大幅壓低生產成本。同時這也突顯出生質酒精產業伴隨經驗累積、科技進步與規模經濟之形成將能有效降低生產成本，達成經濟運作之可能 (IEA, 2004)。

除了生質酒精生產成本，燃料市場上生質酒精販售價格為影響酒精廠商是否投入生產以及獲利可能的重要因子，而各國生質酒精市場價格受到供給、需求與政府政策三個面向所影響。在供給面即廠商投入生產生質酒精的意願，如廠商生

產成本原物料價格等；需求面為消費者尋求替代燃料的意願，如替代性商品國際原油與國內汽油價格等；政府政策則為政府對生質酒精市場如關稅、補助與保護措施等。基於上述因素，不同區域與時期生質酒精販售價格亦甚為懸殊。部分國家為鼓勵本國自產生質酒精，政府對於國內生質酒精廠商採行補助、保護措施，包含對國外進口酒精課高關稅與國內酒精廠商免稅補貼等。因此也形成國內酒精價格多高於國際酒精價格，酒精價格高於汽油價格的現象。以美國內布拉斯加州 (Nebraska) 為例，在 2000 至 2007 年內布拉斯加州平均未稅酒精與汽油躉售價格分別為 0.45 與 0.35 美元/公升，而當時國際市場生質酒精平均價格為 0.34 美元/公升。另國際酒精市場價格較低乃是基於巴西為市場上主要出口國，又其具備生質酒精生產成本上的競爭優勢，故可有較低的定價空間 (USDA, 2006)。

此外預期在原油價格上漲與新興國家對燃料需求增加下，酒精價格長期呈上升趨勢，截自目前為止酒精價格於 2008 年 7 月達最高點 0.77 美元/公升，以內布拉斯加州 (Nebraska) 為例整理如下圖 2-3 所示。

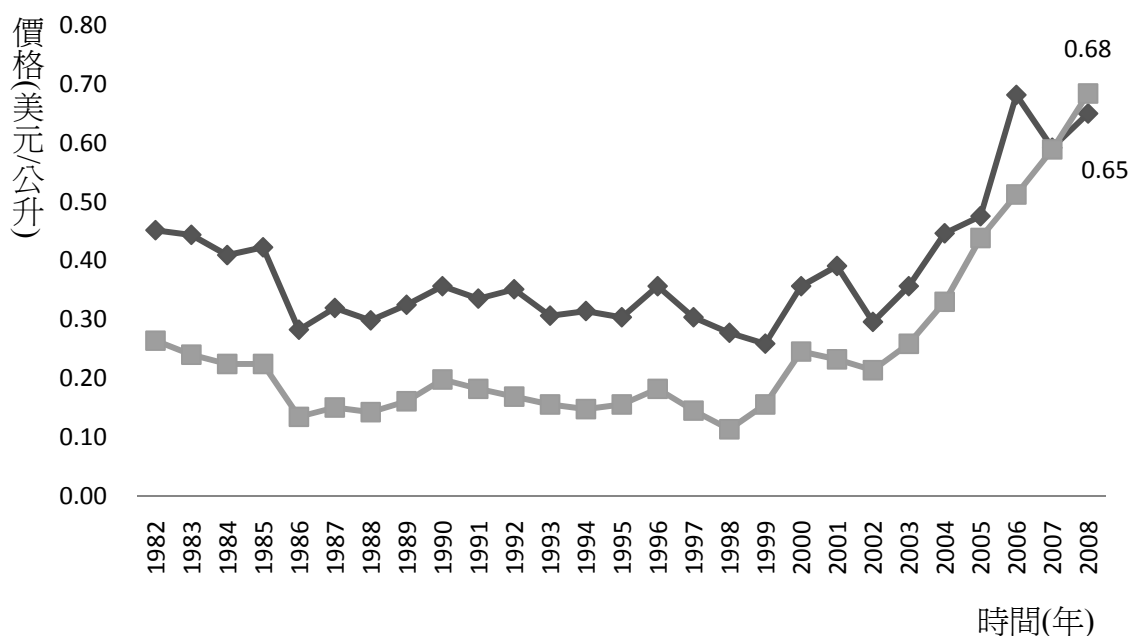


圖 2-3 內布拉斯加州平減後未稅酒精躉售價格

資料來源：Official Nebraska Government Website

由上圖可見長期以來內布拉斯加州市場上生質酒精價格普遍高於汽油價格，這可能是因為生質酒精生產成本較高，同時美國政府對於本國酒精產業採取強制添加與補貼等政策措施，使得市場上酒精價格較高。另生質酒精與汽油價格長期皆呈上漲趨勢，尤其自 2002 年近期低點後價格增加顯著。而伴隨價格上漲生質酒精價格與汽油價格亦漸趨接近。在 2007 年因生質酒精價格下滑，使得生質酒精與汽油市場價格首度持平，在 2008 年則因汽油價格大幅攀升，進一步使得汽油價格超越生質酒精價格。惟 2008 年 10 月後汽油價格大幅滑落，連帶使酒精價格下降。

Schnitkey 在 2007 年的報告中便指出了這樣的現象。依其估計美國酒精販售價格的訂價可用計算式 2-1 估算。

$$P_E = \frac{HC_E}{HC_G} \times P_G + gs + va \quad \dots\dots\dots \text{式 (2-1)}$$

其中， P_E =生質酒精價格， P_G =汽油價格， HC_E =酒精熱含量， HC_G =汽油熱含量， gs =政府補助措施， va =附加價值。

上式 2-1 指出酒精作為汽油的替代性商品，因此需考量汽油之販售價格。又酒精熱含量為汽油之 67%，因此訂價應以汽油價格乘以 0.67 做調整。又在當時美國聯邦政府對生質酒精消費者提供 0.055 美元/公升的優惠補助，可使市場價格增加。另考量生質酒精可取代汽油中污染環境的含鉛添加劑甲基叔丁基醚等額外好處，因此在售價上還可提高 0.052 美元/公升。在此計算基礎底下，當國際原油價格達到 65 美元/桶，躉售生質酒精與汽油價格皆為 0.57 美元/公升。當國際原油上漲到 100 美元/桶時，躉售生質酒精價格 0.76 美元/公升則會低於躉售汽油價格 0.85 美元/公升。這代表了伴隨國際原油價格上漲，生質酒精可在燃料市場上取得競爭優勢。此外文中亦指出當補貼後的酒精價格逐漸能與汽油競爭，則政府亦該設置針對補貼措施進行調整 (Doering, 2004)。考量上述生質酒精生產與燃料市場價格之關聯，荷蘭 TU/e (2005) 報告中則指出當生質酒精價格達到 0.6 歐元/升，氣化合成生質酒精即便在小規模生產下仍具商業競爭力。NREL (2007) 認為

利用木質纖維素氣化合成的生質酒精成本價格需達到 0.28 美元/公升以下才有辦法與玉米發酵製成之生質酒精在市場競爭。

在台灣依目前實驗試作階段，製造生質酒精的生產成本從 19-44 元/公升依不同原料與估算方法有顯著差距 (左峻德，2006)，然就文獻回顧所及台灣尚缺乏氣化合成纖維素生質酒精生產成本的估算。另在市場價格上，因台灣現在尚未形成生質酒精市場故缺乏酒精販售價格資訊，在未來政府推行的 E3 酒精汽油策略，預設躉售價格將與 95 無鉛汽油相同零售價格則便宜 1 元/公升，以 2008 年最近一次價格調整後 95 無鉛汽油躉售價格為 33.517 元/公升，扣除營業及貨物稅後未稅躉售價格為 25.416 元/公升，故將來生質酒精市場價格可能落於此區間。

綜合上述，透過國外氣化合成酒精在技術細節、轉換效率、成本規模與市場競爭的探討，將可供作台灣氣化合成廠在設廠上的借鏡，配合上述原物料短輪伐期木質作物之經營，則能提供廠商生質酒精經營方案設計時所需之資訊，並藉以評估台灣發展氣化合成酒精之可行性。

第三節、酒精產業政策分析

生質酒精相關文獻探討面向，除了前述以經濟為考量，評估林農和酒精廠商在財務上之經營成效外。就政府與整體社會而言，推動生質酒精等生質能源產業的目的更包含溫室氣體減量、增加能源自給率與提供就業機會等環境保護、國家安全與社會福利之外部效益。因此生質酒精在環境方面溫室氣體減量效果與能源生產效率；社會方面工作機會創造和區域經濟影響亦成為評估重點。美國農業部 (USDA) 在 2006 年的報告中，便強調利用纖維素原料生產生質酒精，因在過程中需要較少的肥料及化石燃料投入，因此對於溫室氣體減量有較高的助益。依其估計，利用酒精汽油比起傳統汽油可以減少溫室氣體排放達 67-89%。同樣的概念，文中亦指出利用纖維素的生質酒精有較高的能源結構來自可在生能源，可以減少對於化石燃料的依賴。Malça & Freire (2006) 以生命週期概念來分析生質酒

精轉換效率，指出每單位生質酒精中有 48%的能量是來自生質燃料屬可再生能源。Manley & Richardson (1995) 認為利用造林木作為生質燃料時，除了提供環境經濟上的益處，亦可創造社會效益如區域性就業機會、增進林地收穫價值與改善區域性能源供給結構。Gan & Smith (2007) 評估美國東德州以伐木殘材作為生質燃料，便依據設廠與生質作物之種植經營等所需之人力，推估此經營計畫可提供 1340 個就業機會，每年為社會創造 214 百萬美元之價值。

考量生質酒精產業之正面外部性以及生質酒精產業在發展初期因市場尚未成熟，生產成本可能高於傳統能源而面臨虧損與較高的風險。故部分國家政府乃採用補助優惠措施，對生質酒精產業加以扶植，以促進產業發展達成環境保護、國家安全與社會福利之正面效果。Tyner & Taheripour (2007) 便指出美國政府對生質酒精補助 0.51 美元/加侖，乃基於利用生質酒精可提供國家安全、環境上的正面利益。政府為了對生質酒精產業研擬合適之政策措施，須對配套政策做進一步的釐清。而就本研究文獻回顧所及，生質酒精政策探討乃聚焦於政策之間的比較與政策成效評估等。

歸類國際上促進生質酒精產業政策，依整體產業鏈中補助的對象可細分為能源作物、酒精廠商、煉油業者、加油站與車輛，茲整理如下圖 2-4 所示。

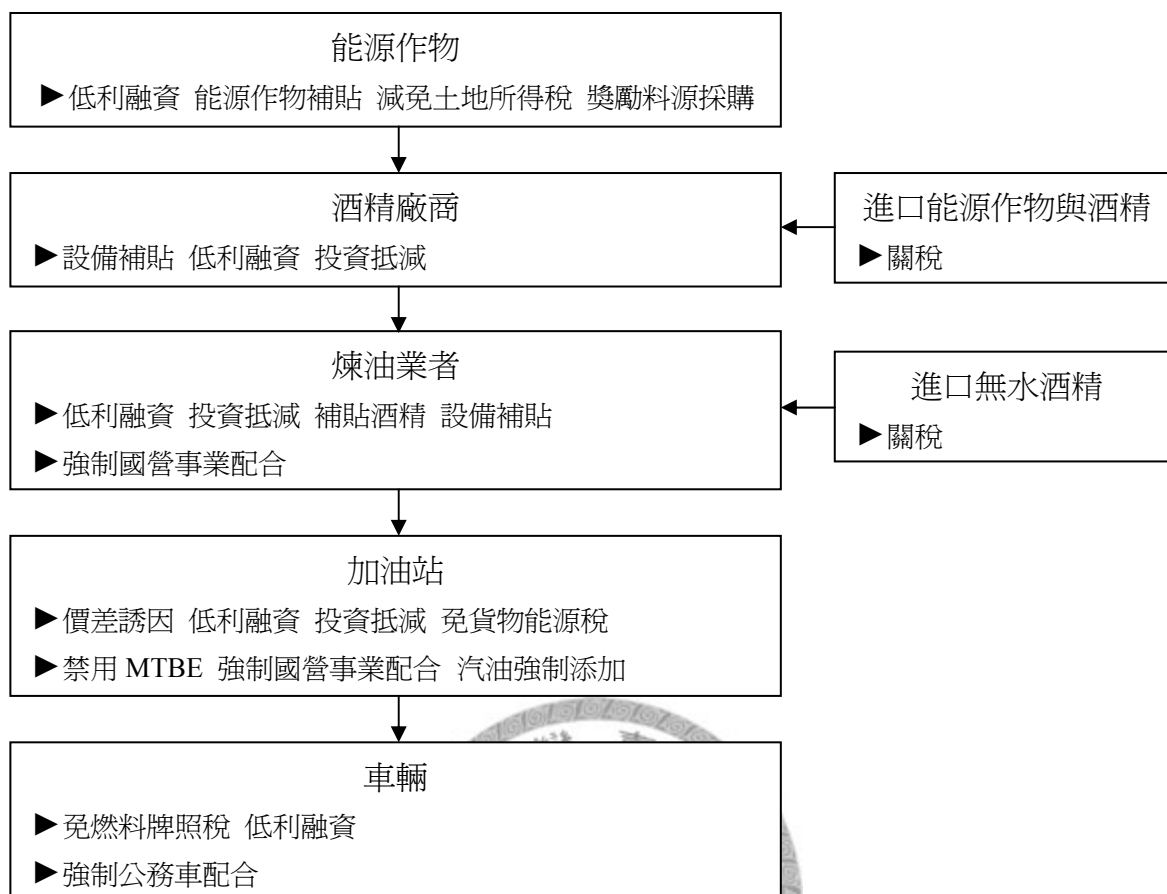


圖 2-4 各階段生質酒精政策措施

註：行政管制與經濟誘因分開陳列

資料來源：整理自Agra (2006)，黃韻勳、吳榮華 (2008)，左峻德、蘇美惠 (2006)，黃瀨儀、黃宗煌 (2006)。

從上圖 2-4 中可知，為促進生質酒精產業發展，政府乃依據對象採取相因應之政策措施，以利政務與生質酒精之推動。而現實上一政策措施可能同時影響供應鏈中多個環節，因此為有效釐清各政策措施之成效，可著眼於政策措施之性質，以從量行政管制與從價經濟誘因加以探討，茲就美國已實行之酒精產業政策措施整理如下表 2-2。

表 2-2 美國生質酒精產業政策措施

行政管制	經濟誘因
1980訂定高關稅政策，對於自巴西進口的酒精至今每加侖課徵0.54美元。	1978年能源稅法，使用E10酒精汽油0.40美元/加侖乙醇的貨物稅減免。
1990年清潔空氣法案修正案，以乙醇替代MTBE作為汽油的添加劑。	1982年地面運輸援助法增加免稅額度至0.50美元/加侖乙醇。
1992年能源政策法案規定政府單位車輛必須強制添加購買替代燃料車輛的	1984年稅收改革法案增加免稅額度至0.56美元/加侖乙醇。
2003年美國國會立法要求在未來10年中，每年要在汽油中增加50億加侖的乙醇。	1998年21世紀運輸法案將乙醇的補貼延長到2007年，但減少至0.51美元/加侖乙醇。
2005年能源政策法案確立可再生燃料標準在2006年為40萬加侖至2012年為75億加侖。	

資料來源：整理自Agra (2006), IEA (2004), W. E. Tyner & Maxime Caffé (2007)

由表 2-2 中可知美國聯邦政府對生質酒精產業同時採取從量與從價的政策措施，並在近年大幅提高生質酒精的要求使用量與延長補貼年限，藉以減少燃料市場對酒精廠商的不確定性，鼓勵酒精廠商投入生產。同時為保護國內廠商，避免現行 0.51 美元/加侖的補貼轉移至進口酒精，政府同時訂定 0.54 美元/加侖的高關稅政策 (Tyner & Caffé 2007)。

針對上述行政管制與經濟誘因等生質酒精政策措施，Gorter & Just (2007) 提出經濟理論模型討論政府的生質酒精產業政策措施，並比較在相同目標下以行政管制從量強制添加一定比例酒精與以經濟誘因從價補貼生質酒精之效率與影響。依報告結果，強制添加一定比例酒精會形成燃料供給市場並替代一定比例的汽油使用量，使原本汽油業者的福利轉移至酒精廠商。同時基於生質酒精生產成本與販售價格較高的原因，強制添加將使消費者燃料價格上升，燃料需求量也將因價格上漲減少；對生質酒精補貼乃將政府稅收轉移至生質酒精生產者，可使生

質酒精在市場上具有競爭力，替代部分汽油從而使汽油需求量減少；在強制添加與課稅減免兩者同時施行時，將使政府稅收轉移至燃料消費者身上，對於酒精廠商的好處僅源於總體燃料需求增加。

同樣對於生質酒精政策的評估與檢討，Tyner & Caffè (2007) 指出過去美國對生質酒精提供補貼與關稅限制，可使生質酒精產業達到生產成本上的競爭力。然而這樣的政策措施在現今原油價格上漲，酒精廠商已有合理利潤後應逐步取消。因在此情形下補貼所帶來的負面效果如糧食供給失衡、生產效率抵減與稅收減少等將超過益處。文中並建議現行美國的補貼方式可以調整為浮動補貼 (variable subsidy) 與區隔補貼 (segment subsidy)。如以浮動補貼在原油價格 60 美元/桶以上時不加以補貼；50 美元/桶時補貼 0.25 美元/加侖；40 美元/桶時補貼 0.5 美元/加侖。以區隔補貼，針對提供國安全、環境效益進行衡量補貼，由此可使對環境與社會具高益處之生質酒精製程 (如纖維素原物料) 得到較多的補貼。此外 Hahn & Cecot (2008) 提出類似之生質酒精政策目標四項如下：第一降低生質能源的貿易障礙，如美國政府應逐步取消對國外進口酒精之關稅。第二開發真正具成本效益的能源，如以纖維素為原物料製造生質酒精。第三將外部成本內部化，如課徵能源稅。第四不以補貼的方式發展替代能源，如減少對生質酒精的補貼。

台灣政府針對生質酒精之政策措施，考量生質酒精產業之正面效益並因應京都議定書溫室氣體減量之規範，乃在 2005 年第二次全國能源會議中，以從量行政管制方式預定 2010、2015 與 2020 年生質酒精目標使用量分別為 100 至 300、200 至 600 與 300 至 900 萬公秉。經濟部並於 2006 年發展綠色能源生質燃料執行計畫中擬定生質酒精推動目標 2007-2008 年為綠色公務車先行計畫階段，生質酒精推廣量 770 公秉；2009-2010 年為都會區 E3 計畫階段，生質酒精推廣量 12,000 公秉；2011 年為全面供應 E3 階段，生質酒精推廣量 10 萬公秉，並採自由市場機制開放進口。另在從價經濟誘因方面，待 E3 販售後計畫由能源局提供補貼以定價優惠策略，每公升零售價較 95 無鉛汽油便宜一元，吸引消費者使用。此外

尚有促進產業升級條例，明定對於酒精汽油生產設備可提供投資抵減與租稅獎勵。經濟部並於 2002 年研提之再生能源發展條例草案，未來可能課徵碳稅，並給予酒精汽油依添加比例的租稅減免（經濟部能源局，2006）。

綜合上述，參考國外已實行之生質酒精政策措施並考量台灣政府現行提出之階段性政策目標，期能藉以擬定台灣政府可行之政策措施與假設情境。在評估假設情境政策效果時則可參考生質酒精分析之經濟模型，探討行政管制與經濟誘因對於整體生質酒精產業與燃料市場之影響，並可配合前述建立之生質酒精產業現金流量分析，估算各能源政策措施假設情境對於酒精廠商之影響。

從文獻回顧中可知，生質酒精經營計畫案的評估辦法多以成本效益分析中的淨現值、內部投資報酬率、敏感度分析等作為一計畫案經濟成效之判斷基準。Mead (2005) 亦指出在評估短輪伐期木質作物經營計畫案時需考量現行經營情況、成本效益、外部效果與時間等項目，如此才能確切反應出經營所帶來的效應，而現金流量分析乃為討論決定此議題的良好工具。因此本研究將以成本效益分析中的現金流量分析為主軸，配合前述原物料生產與設廠等相關資訊以及假設情境下政府對生質酒精產業的政策措施，來擬定經營計畫方案並評估各經營計畫之成效。

第三章 研究理論與方法

本章中參照森林和生質能源成本效益應用之相關文獻，並依據成本效益分析理論擬定研究方法，依序從方案設計、現金流量分析、敏感度分析至政府補助措施分析，討論林農、廠商與政府在各方案及政策下之利弊，以釐清選定合適之生質酒精產業經營策略。

第一節、成本效益分析理論

成本效益分析是一幫助決策的工具，針對預設目標，擬定達成目標之因應方案，再計算出各方案的成本效益選擇出最合適的決策方案 (Richard & Dwight, 1994)。因此，藉由成本效益分析作為本研究“台灣利用短輪伐木質作物發展氣化合成酒精之探討”的研究理論與方法，將可評估經營方案之可行性並加以比較，有效反應營運計畫效率。成本效益分析中常見的評估指標及決策準則有：淨效益現值 (net present value ; NPV)、益本比 (benefit-cost ratio ; BCR)、內部報酬率 (internal rate of return ; IRR)。淨效益現值為總和效益現值 (total present value benefit ; TPVB) 與總合成本現值 (total present value cost ; TPVC) 兩者之差；益本比為總和效益現值與總合成本現值之比例；內部報酬率是資本邊際效率，決定於計畫淨效益現值與原始資本投資額相等之值 (Weimer & Vining, 2005)。而實務上成本效益分析操作時可分為四個步驟包含有：第一界定評估範圍；第二貨幣量化與成本效益估算；第三處理時間、風險和不確定性因素；第四政策分析。分述如下。

第一，成本效益分析首要界定評估範圍，明確區分評估對象及納入討論之項目。依此原則本研究評估生質酒精產業鏈在能源市場上之發展，故範圍界定將以林農、廠商各項經濟財務上的投入與產出為評估目標，並以投入產出表具體呈現。

其次，為使方案間能夠進行比較，各成本與效益須有共同的理論基礎與衡量單位，即成本效益分析中常見之貨幣化。本研究分析基礎資料建置係參照會計分

析法 (account analysis method)，依據市場價格，會計價值為計算基準 (Horngren *et al.* 1994)。另在市場不存在或受扭曲而無法反映真實成本與價格的情況下，價格估算則參考國外市場並以經過調整的國內實質價格來計算。

第三，經營方案評估時須考量時間之機會成本，將不同時間點的貨幣值轉換為現值。Mead (2005) 指出生質能源作物經營時，除考量投入成本外尚須重視收穫時間折現對效益之影響。而林業經營因收穫輪伐期較長，利率之影響便更顯重要(鄭欽龍，1992)。生質酒精產業在長時間下則可能遭受生產過程、市場與政府政策措施變動之風險 (Coltrain, 2004)。配合上述成本效益貨幣化，本研究在探討生質酒精經營計畫案時便以現金流量表具體呈現。此外伴隨計畫期程延伸成本效益評估數值可能會改變，故採取敏感度分析將風險與不確定性納入評估，以了解各變數之影響力。本研究生質酒精產業主要風險來自外在環境及經濟變動，如林農木竹材收穫量、工資；酒精廠商運作成本與酒精價格等。

第四，生質酒精產業除財務上之獲益外，尚具備改善台灣林農地利用、溫室氣體減量及增加能源自給多樣化等效益。然此等效益因多屬公共財無法排他且尚未有市場存在，對林農和酒精廠商而言屬外部效益。若忽視外部效益，會導致生質酒精產業偏離市場中對社會福利最大之生產點。故可藉由政府課稅補貼、直接管制或賦予財產權等辦法將外部效果內部化，達成資源配置效率提升與促使原本不利經營之生產者投入生產。本研究亦針對此原則擬定酒精在汽油中之目標添加量以及補貼與強制添加等獎勵生質酒精產業能源政策措施。

第二節、研究方法

本研究為尋求合適之生質酒精經營方案，故回顧相關文獻擬定銀合歡、孟宗竹和相思樹生質酒精經營方案，並利用成本效益分析比較三方案財務基礎，以供作決策方案選擇之參考。另為有效落實生質酒精發展策略，扶植生質酒精產業發展價低風險，本研究參考 Gorter & Just (2007) 所提出之經濟理論模型配合前述成

本效益分析比較各情境下的結果，藉以探討政府能源政策措施之效率。下文將詳述本研究流程與各項目估算之資料來源及方法。

一、研究流程

本研究流程將先分別根據銀合歡、孟宗竹與相思樹三樹種之特性，擬定林農木竹材生產供作廠商製造生質酒精之經營方案。並參照成本效益分析理論，依序建立投入產出表與現金流量表，將經營方案之投入成本與產出效益量化，藉以評估三經營方案對於林農與廠商之淨效益現值、益本比、內部報酬率，並就重要變數行敏感度分析。再者依成本效益分析之評估結果，比較三經營方案之優劣做綜合性之討論。最後參照評估結果及方案可行性擬定政府補助措施，評估各補助措施之效率，茲將研究流程整理如下圖 3-1。

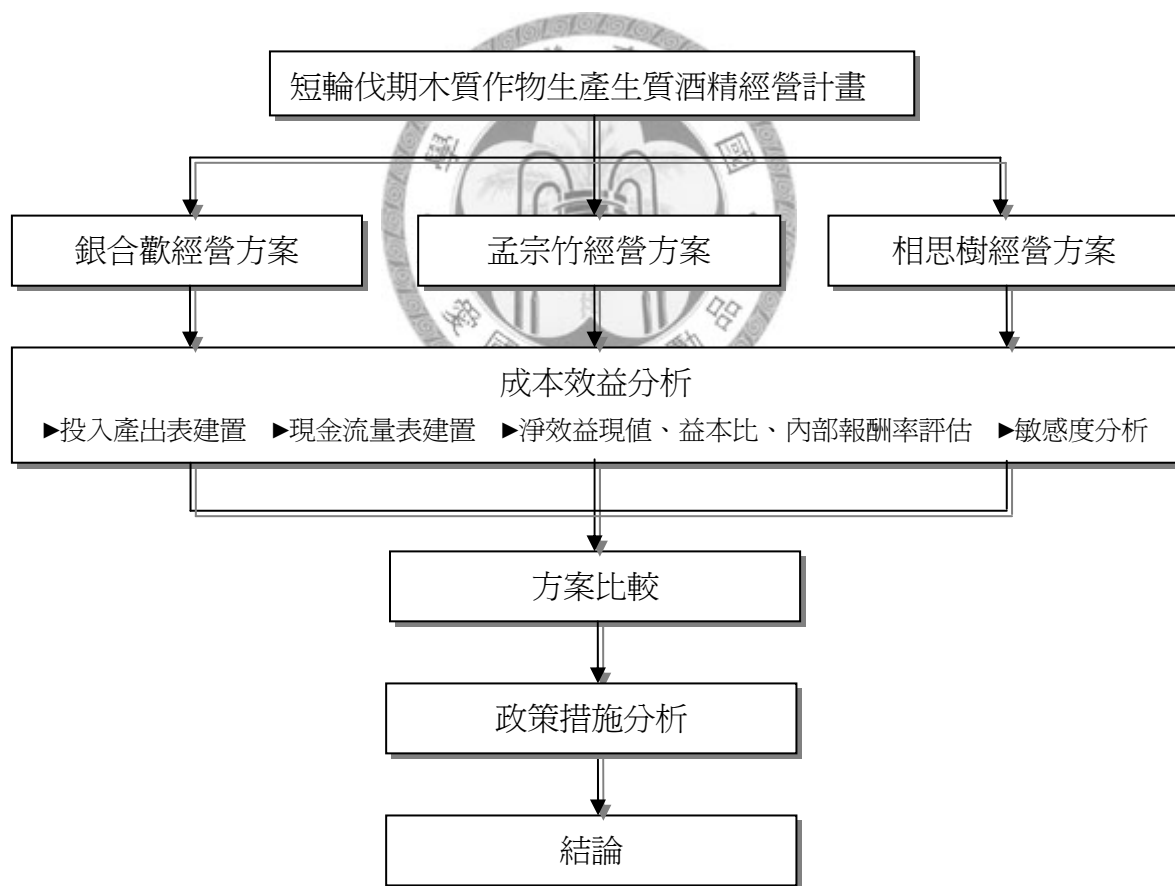


圖 3-1 研究流程圖

二、經營計畫擬定

依照研究流程首先擬定銀合歡、孟宗竹與相思樹三樹種生產酒精之經營計畫。經營辦法與輪伐期的假設條件乃參照相關文獻以及林管處蒐集之實務經驗。預設從整地造林，待成林後依保續生產(sustainable yield)的觀念，根據樹種特性與生長速度每年砍伐收穫一定材積，以達森林永續收穫與穩定經營。同時為突顯營林方式集約程度對於投入產出之差別，本研究分別擬定輪伐期為銀合歡 5 年、孟宗竹 4 年、相思樹 20 年。初始造林砍伐年分則視成林時間分別為銀合歡 5 年、孟宗竹 8 年、相思樹 10 年。酒精廠商之營運計畫則參照國家可再生能源實驗室報告書，營運期程以 20 年計，待初始造林砍伐後開始運作，並分別配合各營運計畫，蒐購各方案生產之木竹材來製造酒精。同時為使各方案得以在相同立足點比較，研究中採用共延性假設，參考經營期間之內部報酬率以再投資的方式延伸至 30 年，茲將經營計畫擬定要件與資料來源整理如下表 3-1。

表 3-1 銀合歡、孟宗竹與相思樹經營計畫

方案	成林砍伐時間	輪伐期
銀合歡	5	5
孟宗竹	8	4
相思樹	10	20

資料來源：本研究整理

三、投入產出表建置

為評估生質酒精經營計畫，需建立投入產出表以為後續成本效益估算之基礎。投入產出表建置需包含林農投入產出量與酒精廠商投入產出量，各項目中尚包含不同細目，茲將各項目與估算方法整理如下表 3-2，並於後文說明各項目之估算流程。

表 3-2 投入產出項目與估算方法

類別	項目	估算方法
林農投入量	人工量	整地、栽植、除草次數與單位面積人工數乘上種植面積
	苗木量	種植密度乘上栽植面積
	處理量	等同木竹材收穫數量
林農產出量	木竹材收穫量	修正之單位面積收穫量乘上造林面積
酒精廠商投入量	原物料蒐購量	等同木竹材收穫數量
	建廠運作規模	原物料年處理量7萬噸計
酒精廠商產出量	生質酒精產量	三樹種原物料蒐購量乘上各含碳率下之轉換效率

資料來源：本研究整理

(一) 林農投入估算

林農投入包含人工、苗木、處理三者，人工量以整地、栽植、除草的次數與單位面積所需人工乘上造林面積估算；苗木量以栽植密度乘上造林面積估算；處理步驟為砍伐、集材、裝車、運輸與碎化，處理量大小則等同林農收穫量計。

(二) 林農產出估算

林農產出參照台灣各試驗區平均綜合結果，設定三經營方案木竹材生物質收穫量。此外 Wright & Ehrenshaft (1990) 指出伴隨育種、栽植等技術進步與經驗累積，短輪伐期木質作物的收穫量將可增加。以美國為例，亞熱帶地區預期增加幅度為 85%。而本研究所援引之生物質收穫量乃為全台多試區在非集約經營狀態下之平均產出，故推估之收穫量將以預期增加幅度做修正，整理如下計算式 3-1。

$$Y_G = Y_N \times ir \quad \dots\dots\dots\text{式 (3-1)}$$

其中， Y_G =預期目標收穫量， Y_N =現行收穫量， ir =預期增加幅度。

(三) 酒精廠商投入估算

酒精廠商投入包含原物料蒐購與建廠運作，原物料蒐購量即廠商向林農購買之木竹材原物料，故等同林農收穫量計；建廠運作考量台灣木竹材原物料之供給潛力，故建廠運作規模以原物料日處理量 7 萬公噸計。

(四) 酒精廠商產出估算

酒精產量以三樹種經營方案所提供之生物量配合其在各碳含量下轉換效率估算各方案下生質酒精產量。酒精廠商產出以原物料蒐購處理量乘上各含碳率下轉換效率加以估計。轉換效率參考國家可再生能源實驗室 2007 年技術報告書實驗數據，在原物料含碳率為 50.88%時，氣化合成酒精轉換效率為 39.00%。即原物料中碳轉換為生質酒精之比率為 76.65%。整理如下計算式 3-2。

$$tr_E = \frac{tr_C \times cr}{sg_E} \dots\dots\dots \text{式 (3-2)}$$

其中， tr_E =生質酒精轉換率， tr_C =原物料中碳轉換率， cr =原物料含碳率， sg_E =酒精比重。

四、現金流量表建置

待投入產出表建置完成後，生質酒精經營計畫現金流量表建置將參照投入產出表，包含林農成本效益與酒精廠商成本效益，各成本效益細目與估算方法整理如下表 3-3，並於後文中詳細說明各項目之估算流程。

表 3-3 成本效益項目與估算方法

類別	項目	估算方法
林農成本	造林成本	人工量乘上工資加上苗木量乘上價格
	處理成本	處理量乘上單位處理成本
林農效益	木竹材販售收益	木竹材收穫量乘上販售價格
	原物料蒐購成本	等同木竹材販售收益
酒精廠商成本	建廠成本	文獻建廠成本乘上規模經濟換算計算式
	運作成本	文獻運作成本乘上規模經濟換算計算式
	課稅	扣除折舊之淨現值乘上稅率
酒精廠商效益	生質酒精販售收益	生質酒精產量乘上生質酒精販售價格

資料來源：本研究整理

(一) 林農成本估算

林農成本包含造林成本與處理成本。造林成本以經營方案中所需人工量配合每人工資加上苗木量配合每株價格估算；處理成本則參照 Wright & Ehrenshaft (1990) 短輪伐期木質作物 1989 年度報告中單位處理成本並折算為現行台灣價值再配合木竹材收穫處理量求得。又處理成本假設三樹種在砍伐、集材、運送與碎化等步驟上並無效率的差異且因採現代化作業，故所需之平均單位成本較傳統方式低。

(二) 林農效益估算

林農效益以木竹材乾物質收穫量配合木竹材市場販售價格估算。木竹材市場販售價格因近年無明顯波動趨勢，故依據三樹種銀合歡、孟宗竹與相思樹分別以林務局 2001 年至 2006 年所各林管處調查蒐集之紙漿材、薪碳材與孟宗竹材平均市價計算。

(三) 酒精廠商成本估算

酒精廠商生產成本細目包含原物料蒐購成本、建廠成本、運作成本與課稅。原物料蒐購成本為廠商向林農購買木竹材之成本，即為林農販售收益；建廠成本可細分各項設備以及間接之設計、建造與法律合約費用；運作成本包含各酵素耗

材與固定之人事經常費，為每年皆須投入之成本；課稅稅率為淨收入扣除折舊費用之 25%。折舊方式則以直線折舊，殘值為 10%計算。而建廠運作成本皆參照 NREL 2007 年技術報告書中各設備成本細目資料，並配合規模經濟與時間波動，以報告書中所附之計算式 (3-3)

式帶入估算。

$$SC_N = SC_B \times \left(\frac{S_N}{S_B}\right)^{0.7} \dots\dots\dots\text{式 (3-4)}$$

其中， SC_N =新規模成本， SC_B =基礎規模成本， S_N =新規模， S_B =基礎規模。

$$YC_N = YC_B \times \frac{I_N}{I_B} \dots\dots\dots\text{式 (3-5)}$$

YC_N =新年份成本， YC_B =基礎年份成本， I_N =新年份指數， I_B =基礎年份指數。

$$d = \frac{C - sv}{t}$$

d =折舊， C =成本， sv =殘值， t =使用年份。

(四) 酒精廠商效益估算

酒精廠商效益為生質酒精販售所得，以廠商生質酒精產量配合生質酒精價格評估。因台灣目前尚無生質酒精市場，故參照國外汽油與生質酒精市場價格折合台幣，藉此估算各經營方案酒精廠商之成本與效益。參考經濟部能源局 (2008)，將台灣汽油躉售價格定為 25.416 元/公升。若參照計算式 2-1 之酒精價格計算方式，並將熱含量修正為 0.7，不考慮政府補貼，將附加價值設為 1.69 元/公升因此台灣生質酒精售價為 19.48 元/公升。另在部分經營計畫期程未達 30 年者，參照工程經濟學比較不同年限投資計畫方式，以共延性假設將經營年限延伸至 30 年，計算方式以再投資的方式假設在相同報酬率下使經營期程延伸至 30 年。估算方式整理如下計算式 3-6。

$$NPV_E = NPV_B \times \left(\frac{1 + IRR}{1 + r}\right)^t \dots\dots\dots\text{式 (3-6)}$$

其中， NPV_E =延伸年限淨效益現值， NPV_B =原年限淨效益現值， IRR =內部報酬率， r =折現率， t =延伸年份。

(五) 折現率擬定

為考量生質酒精經營計畫中時間所代表的機會成本，在現金流量表建置時需擬定折現率。Elauria *et al.* (2003) 與 Koh & Hoi (2003) 探討菲律賓及馬來西亞永續生質能源生產時，考量資金利率與林農合理利潤率，皆以 12% 為折現率來估算其成本效益。本研究考量利率表示資金的機會成本，因此參考 2003 至 2007 年間台灣五大銀行基準利率之平均值並扣除通貨膨脹，換算定義其實質利率為 2.64%。在獲益率上則參考台大實驗林徵收率以 10% 計。合計得整體產業之折現率為 12.64%。

五、方案評估與風險分析

藉由前述所建立之現金流量表可以估算生質酒精經營方案之淨效益現值、益本比與內部報酬率，做為經營方案成效評估之依據。另研究中利用敏感度分析針對林農造林販售木竹材與酒精廠商生產販售生質酒精時重要的變數包含木竹材產量、林農工資、酒經廠商運作成本與酒精價格四者行風險評估，以瞭解各變數對經營方案之影響。

六、方案比較

待銀合歡、孟宗竹與相思樹三經營計畫的評估完成後，本研究將依成本效益分析之評估結果，比較三經營方案之優劣並做綜合性之討論，從經營方式、產出效率與衡量指標三者加以分析探討，藉此選擇合適之生質酒精經營方案。

七、政策措施分析

考量生質酒精產業具有正面外部性，當評估結果為現行產業無獲利基礎或面對高風險時，則可藉由政策措施以增加林農或酒精廠商經營意願。而為探討扶植生質酒精產業政策措施之效率，需建立一致的比較基準，因此本研究參考 Gorter & Just (2007) 所建構分析生質酒精政策措施之經濟模型做為政策措施分析之基礎。研究中將先設定目標與假設條件，再依此行情境分析，最後比較各政策之效率與影響。

(一) 設定條件

參考第二次全國能源會議提出 E3 酒精汽油政策，因此研究中將以在 2007 年全國車用汽油中添加 3% 生質酒精為目標。同時研究並以價格與產量之直線函數式，假設全國車用酒精與汽油混合燃料（以下簡稱燃料）需求函數 (D_F)、酒精需求函數 (αD_F)、燃料供給函數 (S_F)、汽油供給函數 (S_G)、與酒精供給函數 (S_E)，此外並假設生質酒精與汽油是完全替代品、生質燃料不受規模經濟影響以及酒精初始販售價格與汽油一致，做為後續經濟分析之基礎。

(二) 情境分析

政府對生質酒精產業依政策措施性質可分為從價的經濟誘因如補貼與從量的行政管制如強制添加。本研究參照 Gorter & Just (2007) 所建構分析生質酒精政策措施之經濟模型。探討在酒精添加目標 3% 下，以補貼與強制添加兩種政策措施，對於燃料、酒精與汽油市場之影響，並比較政策措施對經營計畫利潤之助益，再依政策比較結果分析各措施對剩餘分配及林業部門的影響，藉以評估政策執行時較合理的目標與辦法。



第四章 生質酒精經營計畫案例分析

本章分為銀合歡經營方案分析、孟宗竹經營方案分析、相思樹經營方案分析、方案比較與補助措施分析五個部分。前三部分將以成本效益分析分別評估三樹種生質酒精經營方案；第四部分依評估結果行經營方案間的比較；第五部分則進一步擬定政府補助措施並評估各補助措施之效率。

第一節、銀合歡經營方案

當銀合歡林以造林生產為目的經營而採取短輪伐期營林方式時，須提高單位栽質密度並以矮林作業萌芽更新。如此才可符合經濟效益，增進生物質收穫量與降低生產成本。故本研究中假設銀合歡栽植密度為 7500 株/公頃，並因母株在 20 至 30 年內仍具萌芽更新能力，在經營期間內僅需在期初造林時支付造林成本。另銀合歡具有毒他作用，故僅需在前兩年內除草。經營面積則為供應酒精廠所需原物料來源，預設營林面積為 4200 公頃。生質酒精廠預設於第 4 年始興建，第 5 年開始運作。建廠規模評估台灣可能之木竹材供給潛力定為原物料處理量 7 萬噸/年，並在集資時假設借款建廠成本 70%，並以年利 2.64%攤還。其餘假設條件整理於下表 4-1 投入產出表之中。

一、銀合歡投入產出

銀合歡經營計畫之投入產出包含林農投入產出與廠商投入產出，在研究中經營條件與假設條件下，各類別項目與細項之投入產出合計整理於下表 4-1 中。

表 4-1 銀合歡經營方案投入產出

類別	項目	假設條件	合計
經營條件	栽植面積		4,200(公頃)
	栽植密度		7,500(株/公頃)
	第一年除草		2(次)
	第二年除草		1(次)
	利率		12.64(%)
林農投入	人工量		273,000(日工)
	整地人工量	整地效率 25 (日工/公頃)	105,000(日工)
	栽植人工量	栽植效率 250(株/日工)	126,000(日工)
	除草人工量	除草效率 10(日工/公頃)	42,000(日工)
	苗木量		31,500,000(株)
	處理量		70,140(噸)
林農產出	銀合歡收穫量	產出量 16.70(噸/公頃/年)	70,140(噸)
廠商投入	銀合歡蒐購量		70,140 (噸)
	建廠規模		700,00(噸/年)
廠商產出	酒精產出量	轉換率 28.64%(公秉/噸)	20,085(公秉)

資料來源：本研究整理

註：整地、栽植與除草效率參照王子定(1982)評估數據。

產出量參照王子定 (1988) 生長數據為 9.00 噸/公頃/年代入計算式 3-1 計算得銀合歡產量為 16.70 公噸/公頃/年。

生質酒精轉換率參照 Abe (2007) 所整理銀合歡含碳率 46.99%並配合酒精比重 0.795 代入計算式 3-2 得轉換率為 28.64%。

從上表 4-1 中可知林農投入共需人工 27 萬日工與苗木 3150 萬株，以及後續砍伐、集材等收穫處理量 7 萬噸/年；林農產出為收穫量 7 萬噸/年；廠商投入包含初始建廠，規模處理量 7 萬噸/年，以及後續運作投入與銀合歡蒐購量 7 萬噸/年。廠商產出則為酒精產出 2 萬公秉/年。

二、銀合歡現金流量分析

銀合歡現金流量表之建立，乃參照上述投入產出表量化結果並將之貨幣化。故需擬定各投入產出量之價值，包含人工、銀合歡苗木、銀合歡材、建廠設備與酒精等的價格，將各價值整理如下表 4-2，並續將現金流量表 4-3 整理於其後。

表 4-2 銀合歡經營方案投入產出價值表

類別	項目	假設條件	合計
林農投入價值	人工成本	工資價格 1,200 (元/日工)	327,600,000(元)
	整地人工成本		126,000,000(元)
	栽植人工成本		151,200,000(元)
	除草人工成本		50,400,000(元)
	苗木成本	苗木價格 3 (元/株)	94,500,000(元)
	處理成本		68,557,466(元)
	砍伐成本	砍伐單位成本 211 (元/噸)	14,805,677(元)
	集材成本	集材單位成本 178 (元/噸)	12,514,730(元)
	裝車成本	裝車單位成本 205 (元/噸)	14,395,358(元)
	運輸成本	運輸單位成本 237 (元/噸)	16,652,113(元)
	碎化成本	碎化單位成本 145 (元/噸)	10,189,589(元)
林農產出價值	銀合歡販售效益	銀合歡價格 1,275 (元/噸)	89,428,500(元)
廠商投入價值	銀合歡蒐購成本		89,428,500(元)
	建廠成本		1,357,437,121(元)
	餵料前處理設備		200,080,913(元)
	氣化設備		111,251,887(元)
	焦油分解設備		331,168,407(元)
	淨化設備		125,050,570(元)
	合成設備		177,658,052(元)
	分離設備		62,094,076(元)
	熱回收設備		175,933,216(元)
	間接成本		174,200,000(元)
	運作成本		43,225,000(元)
	廢棄物處置		975,000(元)
	其餘粗原料		975,000(元)
	耐熱耗材		1,300,000(元)
	催化劑		650,000(元)
固定成本		39,325,000(元)	
廠商產出價值	酒精販售效益	酒精價格 19.48 (元/公升)	391,260,091 (元)

資料來源：本研究整理

註：處理成本參照Wright & Ehrenshaft (1990) 評估數據換算

酒精價格參照 NREL 美國國內生質酒精平均市價換算若參照計算式 2-1 之酒精價格計算方式，並將熱含量修正為 0.7，不考慮政府補貼，將附加價值設為 1.69 元/公升因此台灣生質酒精售價為 19.48 元/公升。

表 4-3 銀合歡經營方案整體現金流量表

年		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
現金流出	造林成本	472500000	504000000	0	0	0	0	0	0	0	0
	整地栽植人工成本	277200000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	苗木成本	94500000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	除草人工成本	100800000	50400000	0	0	0	0	0	0	0	0
	處理成本	0	0	0	0	68557466	68557466	68557466	68557466	68557466	68557466
	建廠成本	0	0	0	1357437121	0	0	0	0	0	0
	運作成本	0	0	0	0	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000
	償還	0	0	0	0	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972
	課稅	0	0	0	0	50379740	50379740	50379740	50379740	50379740	50379740
	流出合計	472500000	504000000	0	1357437121	223924178	223924178	223924178	223924178	223924178	223924178
現金流入	酒精販售效益	0	0	0	0	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091
	設備殘值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	借貸	0	0	0	950205985	0	0	0	0	0	0
	流入合計	0	0	0	950205985	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091
淨收入		-472500000	-504000000	0	-407231136	183775665	183775665	183775665	183775665	183775665	183775665
淨收入現值	12.64%	-472500000	-44744318	0	-284946319	114160914	101350243	89977133	79880268	70916431	62958479

續表 4-3 銀合歡經營方案整體現金流量表

年		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
現金流出	造林成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	整地栽植人工成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	苗木成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	除草人工成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	處理成本	68557466	68557466	68557466	68557466	68557466	68557466	68557466	68557466	68557466	68557466
	建廠成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	運作成本	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000
	償還	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972
	課稅	50379740	50379740	50379740	50379740	50379740	50379740	50379740	50379740	50379740	50379740
	流出合計	223924178	223924178	223924178	223924178	223924178	223924178	223924178	223924178	223924178	223924178
現金流入	酒精販售效益	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091
	設備殘值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	借貸	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	流入合計	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091	391260091
淨收入		183775665	183775665	183775665	183775665	183775665	183775665	183775665	183775665	183775665	183775665
淨收入現值	12.64%	55893536	49621392	44053082	39109626	34720904	30824666	27365648	24294787	21568525	19148194

續表 4-3 銀合歡經營方案整體現金流量表

年		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
現金流出	造林成本	0	0	0							
	整地栽植人工成本	0	0	0							
	苗木成本	0	0	0							
	除草人工成本	0	0	0							
	處理成本	68557466	68557466	68557466							
	建廠成本	0	0	0							
	運作成本	43225000	43225000	43225000							
	償還	61761972	61761972	61761972							
	課稅	50379740	50379740	84315668							
	流出合計	223924178	223924178	257860106							
現金流入	酒精販售效益	391260091	391260091	391260091							
	設備殘值	0	0	135743712							
	借貸	0	0	0							
	流入合計	391260091	391260091	527003803							
淨收入		183775665	183775665	285583450							
淨收入現值	12.64%	16999462	15091852	20820680							

從上表 4-2 與 4-3 中可知銀合歡經營方案的成本主要包含林農初始造林成本 47,250 萬元、林農經常支付的處理成本 6,856 萬元、廠商建廠成本 135,744 萬元、廠商經常支付的運作成本 4,323 萬元與課稅 5,038 萬元；收益則為設備殘值販售 13,574 萬元與經常收入的酒精販售 39,126 萬元。

三、銀合歡現金流量評估結果

銀合歡經營計畫之現金流量評估結果援引成本效益分析中常用的指標包含淨效益現值、益本比、內部報酬率與生質酒精販售之成本價。茲將結果整理如下表 4-4，並於後文分述說明林農、廠商與整體產業之評估結果。

表 4-4 銀合歡經營計劃評估結果

指標	結果
NPV	130,340,103(元)
B/C ratio	1.05
IRR	14.45(%)
成本價	17.92(元/公升)

資料來源：本研究整理

在預設的經營與假設條件下，銀合歡經營方案整體產業的淨效益現值至 23 年為 11,657 萬元，為使方案間進行比較，依計算式 3-4 估算將方案延伸至 30 年時淨效益現值為 13,034 萬元。另依估算益本比為 1.05、內部報酬率為 14.45% 高於折現率 12.64%、成本價為 17.92 元/公升低於與酒精市場價格 19.48 元/公升。由上述結果顯見銀合歡經營計畫在現有條件底下尚具利潤的空間，其中益本比接近 1 乃因整體方案投入之成本較高，故即使尚有 13,034 萬元的淨效益現值，整體產業的益本比仍無顯著改變。

四、銀合歡敏感度分析

銀合歡敏感度分析共包含銀合歡材產量、林農工資、酒精廠商運作成本與酒精價格。其中銀合歡材產量和酒精價格的變動為減少，其餘林農工資與酒精廠商運作成本則增加。變動幅度分別設為 10%、20% 與 30%。茲將分析結果整理如下表 4-5，並於後文分述風險評估結果。

表 4-5 銀合歡經營計劃敏感度分析

項目	變動率(%)	NPV(元)	NPV 變動率(%)
銀合歡材產量	-10	-6,005,496	-105
	10	79,555,236	-39
林農工資	20	32,939,916	-75
	30	-10,168,238	-108
酒精廠商運作成本	10	110,711,783	-15
	20	91,616,096	-30
	30	73,050,732	-44
酒精價格	-10	-28,113,248	-122

資料來源：本研究整理

(一) 銀合歡材產量

銀合歡產量減少可能來自現行技術經驗不純熟，大規模經營時難以達成目標之生產量，或者遭遇病蟲害天災使部分區域產量銳減等原因，使得產量難以符合預期。就敏感度分析結果可知，銀合歡材產量對於整體產業淨效益現值有顯著影響。當銀合歡產量減少超過 10%，即單位面積產量由 16.7 公噸/公頃/年下降至 15.0 公噸/公頃/年時，產業之淨效益現值變動減少達 105%，由可獲利轉為虧損狀態。銀合歡產量的高敏感度，可能是因酒精廠商建廠固定成本高，當所需原料供給不足最終導致酒精減產，將對整體產業之獲益產生嚴重影響。

(二) 林農工資

林農工資增加，可能來自於對於人力需求的提高，使得僱工之實質工資增加。然林農工資因僅對於林農部分造成影響，在整體產業裡較不吃重。故在林農工資上漲了 30%，由 1200 元/日工增加至 1560 元/日工，整體產業之淨效益現值減少 108%，才由盈轉虧。且在實務上，每人工資上漲幅度達 30%之機會並不高。

(三) 酒精廠商運作成本

酒精廠商運作成本增加的原因可能來自於耗材價格增加以及酒精廠商經營時各人事支出之增加。而酒精廠商運作成本增加對整體產業之影響並不顯著，即使運作成本增加 30%由 4,323 萬元增加至 5,619 萬元，整體產業之淨效益現值僅減少 44%仍具獲利空間。這是基於酒精廠商之固定成本偏高，相對而言變動成本

中運作成本之改變則較不重要，同時這也暗示了廠商之進入門檻較高，具備較低的供給彈性。

(四) 酒精價格

酒精價格的變動，可能來自於現行市場上之競爭，好比更多的廠商投入生產或國外酒精的進口，以及其他替代性商品之發展，如以發酵技術平台生產的酒精與交通工具使用瓦斯燃料等。依據敏感度分析，酒精價格對於整體產業為最重要的變數，當酒精價格變動減少超過 10%，即價格由 19.48 元/公升減少至 17.53 元/公升，講使整體產業淨效益現值變動減少達 122%。會有如此顯著之敏感度，是因為整體產業獲利全都來自於酒精販售，當其販售價格下跌對於產業獲利將會產生嚴重影響。

總和而言，銀合歡材產量與酒精價格是對整體產業的重要變數，在要求報酬率下，當兩者改變幅度超過 10%時，則會使整體產業之淨收益現值由盈轉虧。



第二節、孟宗竹經營方案

當孟宗竹林以造林生產為目的經營而採取短輪伐期營林方式時，須提高單位栽質密度並促其地下莖自行更新在生。竹類多利用地下莖行無性繁殖，散生型孟宗竹不斷的伐採以留出空間使新竹萌發。如此才可符合經濟效益，增進生物質收穫量與降低生產成本。故本研究中假設孟宗竹栽植密度為 6000 株/公頃，並因母株在 20 至 30 年內仍具萌發能力，在經營期間內僅需在期初造林時支付造林成本。另孟宗竹竹林需於栽植後連續實施除草 4 年，每年 2~4 次。經營面積則為供應酒精廠所需原物料來源，預設營林面積為 3615 公頃。因孟宗竹以地下莖生長，需 8 年方能成林，生質酒精廠預設於第 7 年始興建，第 8 年開始運作。建廠規模評估台灣可能之木竹材供給潛力定為原物料處理量 7 萬噸/年，並在集資時假設借款建廠成本 70%，並以年利 2.64%攤還。其餘假設條件整理於下表 4-6 投入產出表之中。

一、孟宗竹投入產出

銀合歡經營計畫之投入產出包含林農投入產出與廠商投入產出，在研究中經營條件與假設條件下，各類別項目與細項之投入產出合計整理於下表 4-6 中。

表 4-6 孟宗竹經營方案投入產出

類別	項目	假設條件	合計
經營條件	栽植面積		3,615(公頃)
	栽植密度		6,000(株/公頃)
	第一年除草		4(次)
	第二年除草		2(次)
	第二年除草		2(次)
	第二年除草		1(次)
	利率		12.64(%)
林農投入	人工量		206,055(日工)
	整地人工量	整地效率 25 (日工/公頃)	90,375(日工)
	栽植人工量	栽植效率 250(株/日工)	86,760(日工)
	除草人工量	除草效率 10(日工/公頃)	28,920(日工)
	苗木量		21,690,000(株)
	處理量		70,131(噸)
林農產出	孟宗竹收穫量	產出量 19.40(噸/公頃/年)	70,131(噸)
廠商投入	孟宗竹蒐購量		70,131(噸)
	建廠規模		700,00(噸/年)
廠商產出	酒精產出量	轉換率 31.55%(公秉/噸)	20,085(公秉)

資料來源：本研究整理

註：整地、栽植與除草效率參照李守仁 (1993) 評估數據。

產出量參照王子定 (1988) 生長數據為 10.50 噸/公頃/年代入計算式 3-1 計算得孟宗竹產量為 19.40 公噸/公頃/年。

生質酒精轉換率參照 Abe (2007) 所整理孟宗竹含碳率 51.78% 並配合酒精比重 0.795 代入計算式 3-2 得轉換率為 31.55%。

從上表 4-6 中可知林農投入共需人工 20 萬日工與苗木 2169 萬株，以及後續砍伐、集材等收穫處理量 7 萬噸/年；林農產出為收穫量 7 萬噸/年；廠商投入包含初始建廠，規模處理量 7 萬噸/年，以及後續運作投入與銀合歡蒐購量 7 萬噸/年。廠商產出則為酒精產出 2 萬公秉/年。

二、孟宗竹現金流量分析

孟宗竹現金流量表之建立，乃參照上述投入產出表量化結果並將之貨幣化。故需擬定各投入產出量之價值，包含人工、銀合歡苗木、銀合歡材、建廠設備與酒精等的價格，將各價值整理如下表 4-7，並續將現金流量表 4-8 整理於其後。

表 4-7 孟宗竹經營方案投入產出價值表

類別	項目	假設條件	合計
林農投入價值	人工成本	工資價格 1,200 (元/日工)	247,266,000(元)
	整地人工成本		108,450,000(元)
	栽植人工成本		104,112,000(元)
	除草人工成本		34,704,000(元)
	苗木成本	苗木價格 3 (元/株)	65,070,000(元)
	處理成本		68,548,669(元)
	砍伐成本	砍伐單位成本 211 (元/噸)	14,803,777(元)
	集材成本	集材單位成本 178 (元/噸)	12,513,124(元)
	裝車成本	裝車單位成本 205 (元/噸)	14,393,511(元)
	運輸成本	運輸單位成本 237 (元/噸)	16,649,976(元)
碎化成本	碎化單位成本 145 (元/噸)	10,188,281(元)	
林農產出價值	孟宗竹販售效益	孟宗竹價格 1,275 (元/噸)	89,767,680(元)
廠商投入價值	孟宗竹蒐購成本		89,767,680(元)
	建廠成本		1,357,437,121(元)
	餵料前處理設備		200,080,913(元)
	氣化設備		111,251,887(元)
	焦油分解設備		331,168,407(元)
	淨化設備		125,050,570(元)
	合成設備		177,658,052(元)
	分離設備		62,094,076(元)
	熱回收設備		175,933,216(元)
	間接成本		174,200,000(元)
	運作成本		43,225,000(元)
	廢棄物處置		975,000(元)
	其餘粗原料		975,000(元)
	耐熱耗材		1,300,000(元)
	催化劑		650,000(元)
固定成本		39,325,000(元)	
廠商產出價值	酒精販售效益	酒精價格 19.48 (元/公升)	431,069,417(元)

資料來源：本研究整理

註：處理成本參照Wright & Ehrenshaft (1990) 評估數據換算

酒精價格參照 NREL 美國國內生質酒精平均市價換算若參照計算式 2-1 之酒精價格計算方式，並將熱含量修正為 0.7，不考慮政府補貼，將附加價值設為 1.69 元/公升因此台灣生質酒精售價為 19.48 元/公升。

表 4-8 孟宗竹經營方案整體現金流量表

年		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
現金流出	造林成本	416448000	69408000	69408000	34704000	0	0	0	0	0	0
	整地栽植人工成本	212562000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	苗木成本	65070000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	除草人工成本	138816000	69408000	69408000	34704000	0	0	0	0	0	0
	處理成本	0	0	0	0	0	0	0	68548669	68548669	68548669
	建廠成本	0	0	0	0	0	0	1357437121	0	0	0
	運作成本	0	0	0	0	0	0	0	43225000	43225000	43225000
	償還	0	0	0	0	0	0	0	61761972	61761972	61761972
	課稅	0	0	0	0	0	0	0	61919963	61919963	61919963
	流出合計	0	0	0	0	0	0	1357437121	256674615	256674615	256674615
現金流入	酒精販售效益	0	0	0	0	0	0	0	431069417	431069417	431069417
	設備殘值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	借貸	0	0	0	0	0	0	950205985	0	0	0
	流入合計	0	0	0	0	0	0	950205985	431069417	431069417	431069417
淨收入		-416448000	-69408000	-69408000	-34704000	0	0	-407231136	213726252	213726252	213726252
淨收入現值	12.64%	-416448000	-61619318	-54704650	-24282959	0	0	-199381622	92898644	82473939	73219051

續表 4-8 孟宗竹經營方案整體現金流量表

年		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
現金流出	造林成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	整地栽植人工成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	苗木成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	除草人工成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	處理成本	68548669	68548669	68548669	68548669	68548669	68548669	68548669	68548669	68548669	68548669
	建廠成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	運作成本	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000
	償還	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972
	課稅	61919963	61919963	61919963	61919963	61919963	61919963	61919963	61919963	61919963	61919963
	流出合計	256674615	256674615	256674615	256674615	256674615	256674615	256674615	256674615	256674615	256674615
現金流入	酒精販售效益	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417
	設備殘值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	借貸	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	流入合計	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417
淨收入		213726252	213726252	213726252	213726252	213726252	213726252	213726252	213726252	213726252	213726252
淨收入現值	12.64%	65002708	57708370	51232573	45483463	40379495	35848273	31825527	28254196	25083626	22268844

續表 4-8 孟宗竹經營方案整體現金流量表

年		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
現金流出	造林成本	0	0	0	0	0	0	0	0		
	整地栽植人工成本	0	0	0	0	0	0	0	0		
	苗木成本	0	0	0	0	0	0	0	0		
	除草人工成本	0	0	0	0	0	0	0	0		
	處理成本	68548669	68548669	68548669	68548669	68548669	68548669	68548669	68548669		
	建廠成本	0	0	0	0	0	0	0	0		
	運作成本	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000		
	償還	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972		
	課稅	61919963	61919963	61919963	61919963	61919963	61919963	61919963	95855891		
	流出合計	256674615	256674615	256674615	256674615	256674615	256674615	256674615	290610543		
現金流入	酒精販售效益	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417		
	設備殘值	0	0	0	0	0	0	0	135743712		
	借貸	0	0	0	0	0	0	0	0		
	流入合計	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	431069417	566813129		
淨收入		213726252	213726252	213726252	213726252	213726252	213726252	213726252	315534036		
淨收入現值	12.64%	19769926	17551425	15581876	13833342	12281021	10902895	9679417	12686589		

從上表 4-7 與 4-8 中可知孟宗竹經營方案的成本主要包含林農初始造林成本 41,644 萬元、林農經常支付的處理成本 6,855 萬元、廠商建廠成本 135,744 萬元、廠商經常支付的運作成本 4,323 萬元與課稅 6,192 萬元；收益則為設備殘值販售 13,574 萬元與經常收入的酒精販售 43,107 萬元。

三、孟宗竹現金流量評估結果

孟宗竹經營計畫之現金流量評估結果援引成本效益分析中常用的指標包含淨效益現值、益本比、內部報酬率與生質酒精販售之成本價。茲將結果整理如下表 4-9，並於後文分述說明林農、廠商與整體產業之評估結果。

表 4-9 孟宗竹經營計劃評估結果

指標	結果
NPV	7,541,984
B/C ratio	1.00
IRR	12.74(%)
成本價	19.35(元/公升)

資料來源：本研究整理

在預設的經營與假設條件下，銀合歡經營方案整體產業的淨效益現值至 28 年為 753 萬元，為使方案間進行比較，依計算式 3-4 估算將方案延伸至 30 年時淨效益現值為 754 萬元。另依估算益本比為 1.00、內部報酬率為 12.74%高於折現率 12.64%、成本價為 19.35 元/公升低於與酒精市場價格 19.48 元/公升。由上述結果可見孟宗竹經營計畫在現有條件底下尚具利潤的空間，但如各指標所顯示此經營計畫之利潤空間不大，即在外在條件改變下可能需面臨較高的風險。

四、孟宗竹敏感度分析

孟宗竹敏感度分析共包含孟宗竹材產量、林農工資、酒精廠商運作成本與酒精價格。其中孟宗竹材產量和酒精價格的變動為減少，其餘林農工資與酒精廠商運作成本則增加。變動幅度設為 10%。茲將分析結果整理如下表 4-10，並於後文分述風險評估結果。

表 4-10 孟宗竹經營計劃敏感度分析

項目	變動率(%)	NPV(元)	NPV 變動率(%)
孟宗竹材產量	-10	-88,989,118	-1280
林農工資	10	-41,281,418	-647
酒精廠商運作成本	10	-3,993,576	-153
酒精價格	-10	-104,561,074	-1486

資料來源：本研究整理

(一) 孟宗竹材產量

孟宗竹材產量對於整體產業淨效益現值有非常顯著影響。當孟宗竹產量減少超過 10%，即單位面積產量由 19.4 公噸/公頃/年下降至 17.5 公噸/公頃/年時，產業之淨效益現值變動減少達 1280%，由可獲利轉為負數呈虧損狀態。孟宗竹產量的高敏感度乃基於，建廠固定成本高，單位面積產量高，在預期報酬率下原本淨效益現值便偏低，故孟宗竹產量減產勢必對整體產業之獲益產生嚴重影響也導致淨效益現值變動率的急遽改變。

(二) 林農工資

當林農工資上漲了 10%，由 1200 元/日工增加至 1320 元/日工，整體產業之淨效益現值變動減少達 647%，由盈轉虧可能是基於原本的利潤便不顯著。而相較於銀合歡，孟宗竹在經營上則需要更多的人力投入，因此林農工資上漲對其影響即相對較高。

(三) 酒精廠商運作成本

當酒精廠商運作成本增加 10% 由 4,323 萬元增加至 5,619 萬元，整體產業之淨效益現值變動減少 153%。相較其他變數，運作成本之改變對於總體淨效益現

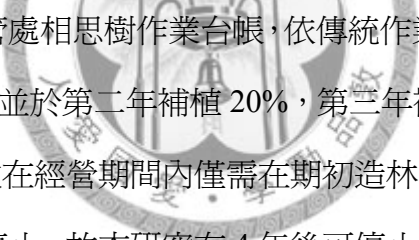
值影響小，為較不敏感的變數，然因原本淨效益現值便偏低故即使微幅改變，在變動率上仍舊超過 100%。

(四) 酒精價格

酒精價格對於整體產業為最重要的變數，當酒精價格變動減少超過 10%，即價格由 19.48 元/公升減少至 17.53 元/公升，將使整體產業淨效益現值變動減少達 1486%。會有如此顯著之敏感度，是因為整體產業獲利全都來自於酒精販售，當其販售價格下跌對於產業獲利將會產生嚴重影響。

總和而言，孟宗竹經營計畫因利潤空間較小，對於風險的承受能力偏低，任一變數只要變動幅度超過 10% 便會使整體產業之淨收益現值由盈轉虧，為極為敏感的變數。

第三節、相思樹經營方案



本研究參照新竹林管處相思樹作業台帳，依傳統作業慣例假設期初相思樹栽植密度為 4000 株/公頃，並於第二年補植 20%，第三年補植 30%。而相思樹在伐採後可自行萌芽更新，故在經營期間內僅需在期初造林時支付造林成本。除草則需在相思樹成林後方能停止，故本研究在 4 年後可停止除草。另因相思樹達最大永續收穫 20 年之期程較長，但為配合酒精廠商之生產運作，方案擬定於 10 年時便行伐採，然單位面積產量與輪伐期仍以 20 計。經營面積則為供應酒精廠所需原物料來源，預設營林面積為 5050 公頃。生質酒精廠預設於第 9 年始興建，第 10 年開始運作。建廠規模評估台灣可能之木竹材供給潛力定為原物料處理量 7 萬噸/年，並在集資時假設借款建廠成本 70%，並以年利 2.64% 攤還。其餘假設條件整理於下表 4-11 投入產出表之中。

一、相思樹投入產出

相思樹經營計畫之投入產出包含林農投入產出與廠商投入產出，在研究中經營條件與假設條件下，各類別項目與細項之投入產出合計整理於下表 4-11 中。

表 4-11 相思樹經營方案投入產出

類別	項目	假設條件	合計
經營條件	栽植面積		5,050(公頃)
	栽植密度		4,000(株/公頃)
	第二年補植		20(%)
	第二年補植		30(%)
	第一年除草		3(次)
	第二年除草		3(次)
	第三年除草		4(次)
	第四年除草		1(次)
	利率		12.64(%)
林農投入	人工量		247,450(日工)
	整地人工量	整地效率 25 (日工/公頃)	126,250(日工)
	栽植人工量	栽植效率 250(株/日工)	80,800(日工)
	除草人工量	除草效率 8(日工/公頃)	40,400(日工)
	苗木量		20,200,000(株)
	處理量		70,195(噸)
林農產出	相思樹收穫量	產出量 13.90(噸/公頃/年)	70,195(噸)
廠商投入	相思樹蒐購量		70,195(噸)
	建廠規模		700,00(噸/年)
廠商產出	酒精產出量	轉換率 29.52%(公秉/噸)	20,720(公秉)

資料來源：本研究整理

註：整地、栽植與除草效率參照新竹林管處評估數據。

產出量參照劉慎孝、林子玉 (1968) 生長數據為 7.52 噸/公頃/年代入計算式 3-1 計算得相思樹產量為 13.90 公噸/公頃/年。

生質酒精轉換率參照 Abe (2007) 所整理相思樹含碳率 48.45%並配合酒精比重 0.795 代入計算式 3-2 得轉換率為 29.52%。

從上表 4-11 中可知林農投入共需人工 25 萬日工與苗木 2020 萬株，以及後續砍伐、集材等收穫處理量 7 萬噸/年；林農產出為收穫量 7 萬噸/年；廠商投入包含初始建廠，規模處理量 7 萬噸/年，以及後續運作投入與相思樹蒐購量 7 萬噸/年。廠商產出則為酒精產出 2 萬公秉/年。

二、相思樹現金流量分析

相思樹現金流量表之建立，乃參照上述投入產出表量化結果並將之貨幣化。故需擬定各投入產出量之價值，包含人工、相思樹苗木、相思樹材、建廠設備與酒精等的價格，將各價值整理如下表 4-12，並續將現金流量表 4-13 整理於其後。



表 4-12 相思樹經營方案投入產出價值表

類別	項目	假設條件	合計
林農投入價值	人工成本	工資價格 1,200 (元/日工)	296,940,000(元)
	整地人工成本		151,500,000(元)
	栽植人工成本		96,960,000(元)
	除草人工成本		48,480,000(元)
	苗木成本	苗木價格 3 (元/株)	60,600,000(元)
	處理成本		68,611,225(元)
	砍伐成本	砍伐單位成本 211 (元/噸)	14,817,287(元)
	集材成本	集材單位成本 178 (元/噸)	12,524,543(元)
	裝車成本	裝車單位成本 205 (元/噸)	14,406,646(元)
	運輸成本	運輸單位成本 237 (元/噸)	16,665,170(元)
	碎化成本	碎化單位成本 145 (元/噸)	10,197,579(元)
林農產出價值	相思樹販售效益	相思樹價格 1,280 (元/噸)	89,849,600(元)
廠商投入價值	相思樹蒐購成本		89,849,600(元)
	建廠成本		1,357,437,121(元)
	餵料前處理設備		200,080,913(元)
	氣化設備		111,251,887(元)
	焦油分解設備		331,168,407(元)
	淨化設備		125,050,570(元)
	合成設備		177,658,052(元)
	分離設備		62,094,076(元)
	熱回收設備		175,933,216(元)
	間接成本		174,200,000(元)
	運作成本		43,225,000(元)
	廢棄物處置		975,000(元)
	其餘粗原料		975,000(元)
	耐熱耗材		1,300,000(元)
	催化劑		650,000(元)
固定成本		39,325,000(元)	
廠商產出價值	酒精販售效益	酒精價格 19.48 (元/公升)	403,633,505(元)

資料來源：本研究整理

註：處理成本參照Wright & Ehrenshaft (1990) 評估數據換算

酒精價格參照 NREL 美國國內生質酒精平均市價換算若參照計算式 2-1 之酒精價格計算方式，並將熱含量修正為 0.7，不考慮政府補貼，將附加價值設為 1.69 元/公升因此台灣生質酒精售價為 19.48 元/公升。

表 4-13 相思樹經營方案整體現金流量表

年		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
現金流出	造林成本	454500000	238158000	255732000	48480000	0	0	0	0	0	0
	整地栽植人工成本	248460000	74538000	49692000	0	0	0	0	0	0	0
	苗木成本	60600000	18180000	12120000	0	0	0	0	0	0	0
	除草人工成本	145440000	145440000	193920000	48480000	0	0	0	0	0	0
	處理成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68611225
	建廠成本	0	0	0	0	0	0	0	0	1357437121	0
	運作成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43225000
	償還	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61761972
	課稅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53887718
	流出合計	454500000	238158000	255732000	48480000	0	0	0	0	1357437121	227485915
現金流入	酒精販售效益	0	0	0	0	0	0	0	0	0	471472113
	設備殘值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	借貸	0	0	0	0	0	0	0	0	950205985	0
	流入合計	0	0	0	0	0	0	0	0	950205985	403633505
淨收入		-454500000	-238158000	-255732000	-48480000	0	0	0	0	-407231136	193107242
淨收入現值	12.64%	-454500000	-211432884	-201557885	-33922253	0	0	0	0	-157144737	66155322

續表 4-13 相思樹經營方案整體現金流量表

年		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
現金流出	造林成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	整地栽植人工成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	苗木成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	除草人工成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	處理成本	68611225	68611225	68611225	68611225	68611225	68611225	68611225	68611225	68611225	68611225
	建廠成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	運作成本	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000
	償還	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972
	課稅	53887718	53887718	53887718	53887718	53887718	53887718	53887718	53887718	53887718	53887718
	流出合計	227485915	227485915	227485915	227485915	227485915	227485915	227485915	227485915	227485915	227485915
現金流入	酒精販售效益	471472113	471472113	471472113	471472113	471472113	471472113	471472113	471472113	471472113	471472113
	設備殘值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	借貸	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	流入合計	403633505	403633505	403633505	403633505	403633505	403633505	403633505	403633505	403633505	403633505
淨收入		193107242	193107242	193107242	193107242	193107242	193107242	193107242	193107242	193107242	193107242
淨收入現值	12.64%	58731642	52141017	46289966	41095495	36483927	32389850	28755193	25528403	22663710	20120481

續表 4-13 相思樹經營方案整體現金流量表

年		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
現金流出	造林成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	整地栽植人工成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	苗木成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	除草人工成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	處理成本	68611225	68611225	68611225	68611225	68611225	68611225	68611225	68611225	68611225	68611225
	建廠成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	運作成本	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000	43225000
	償還	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972	61761972
	課稅	53887718	53887718	53887718	53887718	53887718	53887718	53887718	53887718	53887718	87823646
	流出合計	227485915	227485915	227485915	227485915	227485915	227485915	227485915	227485915	227485915	261421843
現金流入	酒精販售效益	471472113	471472113	471472113	471472113	471472113	471472113	471472113	471472113	471472113	471472113
	設備殘值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135743712
	借貸	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	流入合計	403633505	403633505	403633505	403633505	403633505	403633505	403633505	403633505	403633505	539377217
淨收入		193107242	193107242	193107242	193107242	193107242	193107242	193107242	193107242	193107242	294915026
淨收入現值	12.64%	17862643	15858171	14078631	12498785	11096223	9851050	8745605	7764209	6892941	9345667

從上表 4-12 與 4-13 中可知相思樹經營方案的成本主要包含林農前四年造林成本 45,450、23816、25573 與 4848 萬元、林農經常支付的處理成本 6,861 萬元、廠商建廠成本 135,744 萬元、廠商經常支付的運作成本 4,323 萬元與課稅 5,389 萬元；收益則為設備殘值販售 13,574 萬元與經常收入的酒精販售 40,363 萬元。

三、相思樹現金流量評估結果

銀合歡經營計畫之現金流量評估結果援引成本效益分析中常用的指標包含淨效益現值、益本比、內部報酬率與生質酒精販售之成本價。茲將結果整理如下表 4-14，並於後文分述說明林農、廠商與整體產業之評估結果。

表 4-14 相思樹經營計劃評估結果

指標	結果
NPV	-514,208,826(元)
B/C ratio	0.74
IRR	7.34(%)
成本價	32.26(元/公升)

資料來源：本研究整理

在預設的經營與假設條件下，相思樹經營方案整體產業的淨效益現值為 -51,421 萬元。另依估算益本比為 0.74、內部報酬率為 7.34% 低於折現率 12.64%、成本價為 32.26 元/公升高於與酒精市場價格 19.48 元/公升。由上述結果顯見銀合歡經營計畫在現有條件下不具利潤的空間，或許經由補助輔導措施，方能使產業在經濟市場下順利運作。另因相思樹經營方案在現有條件下已不具利潤空間，故研究中不再針對更差之情況做敏感度分析。

第四節、方案比較

本研究將針對前述銀合歡、孟宗竹與相思樹三經營方案淨進行比較，比較項目包含經營方式、產出效率與衡量指標。從經營方式的比較可了解各方案所採取之經營策略、林地投入之集約程度以及依各樹種特性所發展出來的經營方式。就產出效率可看出單位面積下土地之生產力，代表每公頃土地產出能力，受到木竹材收穫量所影響以及產出木竹材之轉換效率所影響。從衡量指標則可了解人力與

資金等投入程度與回收期程。而可做成成本與效益面的探討，並依照成本效益分析所得知結果，何方案較為合適可行，做為前述經營方式與產出效率之總結。

表 4-15 三方案經營計劃評估結果

		銀合歡	孟宗竹	相思樹
經營 方式	成林時間(年)	5	8	10
	輪伐期(年)	5	4	20
	密度(株/公頃)	7500	6000	4000
	除草(年)	2	4	4
	補植	無	無	有
產出 效率	木竹收穫量(公噸/公頃/年)	16.7	19.4	13.9
	酒精轉換率(% 公秉/公噸)	28.63	31.55	29.52
	酒精產出量(公秉/公頃/年)	4.77	6.12	4.10
衡量 指標	NPV(百萬元)	130.3	7.5	-514.2
	B/C ratio	1.05	1.00	0.74
	IRR(%)	14.45	12.74	7.34
	成本價(元/公升)	17.92	19.35	32.26

資料來源：本研究整理

一、經營方式

從經營方式可看出，銀合歡的成林收穫時間為 5 年最短，相思樹收穫時間 10 最長，而越短的成林時間表示資金可以在較短的時間內得到回收報償，可對經營者帶來較高的利益。種植密度銀合歡 7500 株/公頃高於孟宗竹 6000 株/公頃與相思樹 4000 株/公頃，使得銀合歡人工投入量與苗木數量需求皆高，這同時也意味著經營集約程度與成本的增加。而儘管相思樹在後續兩年內仍須補植 30% 與 20%，在栽植總株樹與密度仍以銀合歡最高。另在除草項目上，銀合歡因種植密度較高，且在兩年後銀合歡即有毒他作用，可抑制雜草生長，使得銀合歡除草所需時間 2 年與次數皆明顯少於孟宗竹與相思樹，節省了許多成本。總而言之，三方案之集約程度依序為孟宗竹、銀合歡與相思樹，但銀合歡經營方案因除草次數的減少可節省許多生產成本，故使之在經營成本上對於孟宗竹與相思樹更具競爭力。

二、產出效率

從產出效率可看出，銀合歡、孟宗竹與相思樹在不同經營方式與經營集約程度下使得單位面積木竹材收穫量有所不同。在單位面積收穫量上以孟宗竹 19.4 公噸/公頃/年為最佳，高於銀合歡 16.7 公噸/公頃/年與相思樹 13.9 公噸/公頃/年。這同時突顯了林地的利用效率，代表在同樣的土地面積上可得多少報償。此外為了達成 7 萬噸建廠規模，依據單位面積木材收穫量推估，銀合歡、孟宗竹與相思樹分別需要 4020、3615 與 5050 公頃，即因產出效率之歧異連帶使經營方案擬定時預設之耕作面積有所不同。在產出效率上，亦需考量各木竹材含碳率與酒精轉換率的不同，轉換率以孟宗竹 31.55% 最高，銀合歡與相思樹則分別為 28.63% 與 29.52%。總而言之，將銀合歡、孟宗竹相思樹產出效率換算為單位面積土地酒精之產出量時，孟宗竹 6.12 公乘/公頃/年最高，銀合歡和相思樹則分別為 4.77 和 4.10 公乘/公頃/年，因此在追求單位面積最大酒精生產量時可選擇孟宗竹經營方案。

三、衡量指標

以成本效益之衡量指標來判斷，銀合歡經營方案之淨收益現值 13,034 萬大於 0；益本比 1.05 大於 1；內部報酬率 14.45% 大於折現率 12.64%；成本價 17.92 元/公升小於市場價格 19.48 元/公升。從上述指標來看銀合歡經營方案皆具利潤，為值得投資的經營方案。孟宗竹經營方案之淨收益現值 7,54 萬大於 0；益本比 1.00 約為 1；內部報酬率 12.74% 大於折現率 12.64%；成本價 19.35 元/公升小於市場價格 19.48 元/公升。由衡量指標可知孟宗竹經營方案具些微利潤但幅度並不顯著。相反的相思樹經營方案，淨收益現值-51,420 萬元；益本比 0.74；內部報酬率 7.34%；成本價 32.26 元/公升皆顯示無投資價值。因此就衡量指標看來銀合歡為最合適之經營方案。

在本研究之假設條件下，從經營方式與產出效率上的比較即可看出銀合歡與孟宗竹之經營較集約，然在回收期程與生產除草成本上銀合歡有較大的優勢。在單位產量與生產效率上，孟宗竹經營方案則優於銀合歡、相思樹經營方案。進一

步以成本效益之衡量指標來判斷，銀合歡與孟宗竹經營方案皆有利潤，但又以銀合歡經營方案最具優勢。因此若欲在台灣利用短輪伐期木質作物發展氣化合成生質酒精，台灣以高集約密度之銀合歡經營方案較為適合。此外相思樹與孟宗竹在台灣過去有較大規模之經營與蓄積，若能妥善利用整合現存資源，則可減少初始造林成本並縮短回收期程，有效提高經營方案之收益。而各經營方案可製造不同的副產品，若能開發利用增加附加價值，同樣亦可增加經營方案利潤。

第五節、政策措施分析

從前述方案比較結果，可了解銀合歡與孟宗竹經營方案在要求報酬率下為一具發展潛力之產業。考量生質酒精產業正面之外部性，以及伴隨技術進步、經驗累積與規模經濟等對生產效率的改善效果，政府或可透過補助措施，降低產業初期可能面對的風險，加速生產者投入，促成生質酒精產業發展與生質能源利用。為比較政府不同政策措施之效率與影響，本研究參考 Gorter (2007) 所建構分析生質酒精政策措施之經濟模型，首先設定條件，再者以情境分析對政策加以比較探討。

一、設定條件

參考第二次全國能源會議，以全國車用汽油中添加 3% 生質酒精為假設目標，並以此建構模型基本架構，包含車用混合燃料（以下簡稱燃料）供給函數 (S_F)、汽油供給函數 (S_G)、酒精供給函數 (S_E)、燃料需求函數 (D_F) 與酒精需求函數 (αD_F)，整理如下圖 4-1。

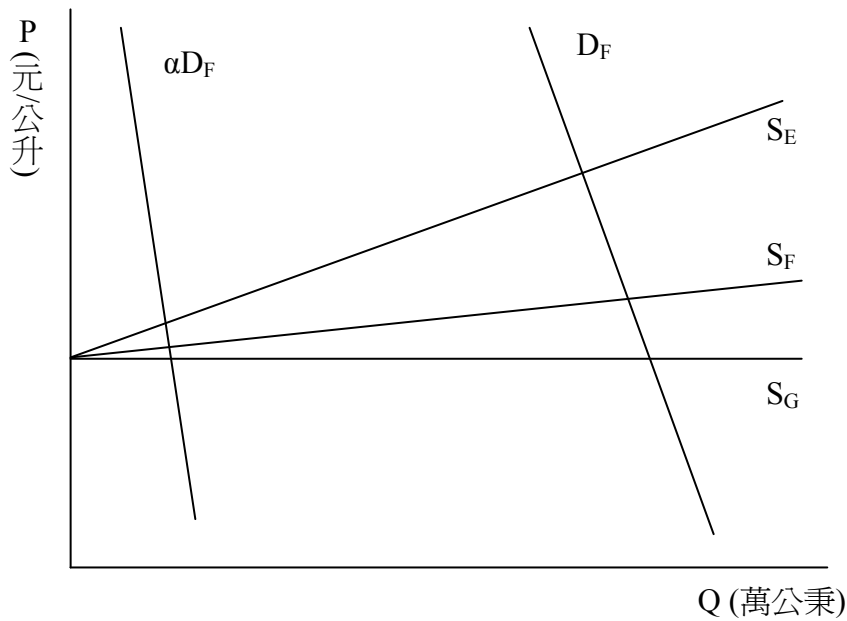


圖 4-1 車用混合燃料市場經濟模型

圖 4-1 所示縱軸是價格 P，單位為元/公升，橫軸是市場需求量 Q，單位為萬公乘，在此參照經濟學慣例，以縱軸表價格 P 自變數，以橫軸表需求量 Q 依變數。同時為符合作圖呈現，茲將函數式 $Q=f(P)$ ，改以關係式 $P=a+bQ$ ，其中等號左方之 P 為自變數，右方之 Q 為依變數。a 為圖形上之截距項，b 則為圖形上之斜率項。

汽油供給函數 S_G 、酒精供給函數 S_E 、燃料需求函數 D_F 乃參照現行車用混合市場狀況，依所蒐集資料推估假設而成。其中燃料需求函數 D_F 代表市場上對於酒精與汽油之燃料總需求量。燃料供給函數 S_F 依酒精添加比例 α 可得，決定於當時汽油與酒精的價格。酒精需求函數 αD_F 則受政府強制添加或價格補貼以及添加比例目標所影響。

首先假設燃料需求函數 D_F 的價格與數量之關係式 4-1，如下：

$$P = a + bQ \quad b \leq 0 \quad \dots\dots\dots\text{式 (4-1)}$$

再將 4-1 式代入需求價格彈性定義式則可改寫為計算式 4-2，如下：

$$\eta_F = -\frac{\Delta Q/Q}{\Delta P/P} = -\frac{\Delta f(P)}{\Delta P} \times \frac{P}{f(P)} = -\frac{1}{b} \times \frac{P}{(P-a)/b} = \frac{P}{-(P-a)} \quad \dots\dots\dots\text{式 (4-2)}$$

其中， η_F =燃料需求價格彈性， ΔQ =數量改變量， ΔP =價格改變量， Q =數量， P =價格。當燃料需求價格彈性 η_F 以及此時價格 P 已知時則可估算出 a ，再配合歷史資料之價格 P 與數量 Q ，即可求得燃料需求關係式 $P=a+bQ$ ，其中 b 應小於 0。

酒精需求函數 αD_F 參照 Gorter & Just (2007)模型假設，酒精需求量為燃料需求量乘上添加比例，如 4-3 式所示：

$$Q_E = \alpha Q_F \quad \dots\dots\dots \text{式 (4-3)}$$

其中， P_F =燃料價格， P_E =酒精價格， Q_F =燃料需求量， Q_E =酒精需求量， α =添加比例，依照定義式 4-3，在價格相同時酒精需求為燃料需求量的 α 倍，將此關係代入燃料需求函數 D_F 經算換即可求得酒精需求函數 αD_F 的關係式 $P=a+bQ/\alpha$ ，如 4-4 式所示：

$$\begin{aligned} P_F &= a + bQ_F \\ &= a + bQ_E/\alpha \quad \dots\dots\dots \text{式 (4-4)} \end{aligned}$$

汽油供給函數 S_G 考量國際原油價格受台灣影響小，故假設汽油價格彈性無限大，售價不受台灣需求量之影響，即汽油供給函數 S_G 為水平之關係式 $P=e$ 。

酒精供給函數 S_E 需求關係式 4-5，如下：

$$P = c + dQ \quad d \geq 0 \quad \dots\dots\dots \text{式 (4-5)}$$

再將 4-5 式代入供給價格彈性定義式則可改寫為計算式 4-6，如下：

$$\eta_E = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta P/P} = \frac{\Delta f(P)}{\Delta P} \times \frac{P}{f(P)} = \frac{1}{d} \times \frac{P}{(P-c)/d} = \frac{P}{P-c} \quad \dots\dots\dots \text{式 (4-6)}$$

其中， η_E =酒精供給價格彈性， ΔQ =數量改變量， ΔP =價格改變量， Q =數量， P =價格。當酒精供給價格彈性 η_E 以及此時價格 P 已知時則可估算出 c ，再配合現有之價格 P 與數量 Q ，即可求得酒精供給關係式 $P=c+dQ$ 。此外，本研究假設酒精供給不受規模經濟影響，故在有限資訊下僅以直線式推算酒精供給函數 S_E ，待台灣生質酒精市場成形後則可藉對酒精供給函數 S_E 回歸模擬，做更精確之推估。

燃料供給函數 S_F 參考 Gorter & Just (2007) 模型假設，設定燃料價格為當時需求量的酒精價格與汽油價格依比例相加，如 4-7 式所示。

$$\begin{cases} P_F = \alpha P_E + (1 - \alpha)P_G \\ Q_E = \alpha Q_F \end{cases} \dots\dots\dots \text{式 (4-7)}$$

其中， P_F =燃料價格， P_E =酒精價格， P_G =汽油價格， Q_F =燃料需求量， Q_E =酒精需求量， α =添加比例。依照計算式 4-7，燃料價格由酒精價格與汽油價格依添加比例所決定，即燃料價格為酒精價格乘上添加比例 α ，加上汽油價格乘上添加比例 $1-\alpha$ 。而此時酒精需求量為燃料需求量的 α 倍。依此關係將酒精價格以酒精供給關係式 $P=c+dQ$ 代入，汽油價格以汽油供給關係式 $P=e$ 代入，經換算即可求得總燃料供給關係式 $P=ac-ae+e+d\alpha^2Q$ ，如 4-8 式所示：

$$\begin{aligned} P_F &= \alpha P_E + (1 - \alpha)P_G \\ &= \alpha(c + dQ_E) + (1 - \alpha)e \\ &= \alpha(c + \alpha dQ_F) + (1 - \alpha)e \\ &= \alpha c - \alpha e + e + d\alpha^2 Q_F \end{aligned} \dots\dots\dots \text{式 (4-8)}$$

茲將本研究針對燃料市場供給需求函數所設定之函數整理如下表 4-16。

表 4-16 燃料市場供給需求函數式

	函數式	
燃料需求函數	D_F	$P = a + bQ$
酒精需求函數	αD_F	$P = a + bQ/\alpha$
汽油供給函數	S_G	$P = e$
酒精供給函數	S_E	$P = c + dQ$
燃料供給函數	S_F	$P = \alpha c - \alpha e + e + d\alpha^2 Q$

資料來源：本研究整理自 Gorter (2007)

有關燃料需求函數 D_F 本文以張四立 (2007) 估計結果假設在價格 26.75 元/公升時，可算出燃料需求價格彈性為 0.063。並以 3-8 式計算可得截距項 a ，再由歷史資料可知 2005 年至 2007 年汽油零售市場平均價格 P 為 26.3 元/公升 (能源局，2008) 與數量 Q 為 1056 萬公秉 (台灣綜合研究院，2007)，代入 $P=a+bQ$ 得斜率項 b ，即可求燃料需求函數 D_F 為 $P=450.9-0.4Q$ 。

酒精需求函數 αD_F 以 4-4 式求得為 $P=450.9-13.4Q$ 。

汽油供給函數 S_G 乃假設國際原油市場不受台灣影響，價格彈性無限大，並參考能源局 (2008) 台灣汽油價格統計，2005 年至 2007 年汽油零售市場價格為 26.3 元/公升帶入計算式求得汽油供給函數 S_G 為 $P=26.3$ 。

酒精供給函數 S_E 參考 Gardner (2003) 估計結果並為符合模型假設條件酒精初始價格與汽油一致，故假設在價格在 35.07 元/公升時，酒精供給價格彈性為 4.0。並以 3-11 式計算可得截距項 c ，再假設台灣在零售市場酒精價格 26.3 元/公升時酒精產量為 0.005 萬公秉。依此代入 $P=c+dQ$ 即可求酒精供給函數 S_E 為 $P=26.3+0.3Q$ 。

燃料供給函數 S_F 以計算式 4-8 求得為 $P=26.3-0.03+277.8\alpha^2Q$ 。茲將上述估算結果整理如下表 4-17，並將詳細數據與計算過程列於附錄。

表 4-17 函數式估算結果

函數式		
燃料需求函數	D_F	$P=450.9-0.4Q$
酒精需求函數	αD_F	$P=450.9-13.4Q$
汽油供給函數	S_G	$P=26.3$
酒精供給函數	S_E	$P=26.3+0.3Q$
燃料供給函數	S_F	$P=26.3-0.03+277.8Q$

資料來源：本研究整理

二、情境分析

本研究情境共分為三項，依序為政府未干預、以補貼達成 3% 添加目標與以強制添加達成 3% 添加目標。藉此評估在不同政策措施與添加比例下效率的差異，及各情境對總體市場與個體經營計畫產生的影響。

(一) 未干預

首先以下圖 4-2 為例，在政府未干預的情形下，燃料市場的價格由汽油供給函數 S_G 所決定，即為 P_G 。此時燃料需求量為 Q_F ，酒精需求量為原本生質酒精供給函數 S_E 低於當時汽油價格 P_G ，可替代汽油使用的部分即 Q_E 。汽油需求量為 Q_G 乃燃料需求量扣除受酒精需求量替代的部分，即 Q_F-Q_E 。這代表在未行補貼前，燃料市場存在 Q_E 量的酒精可替代汽油。

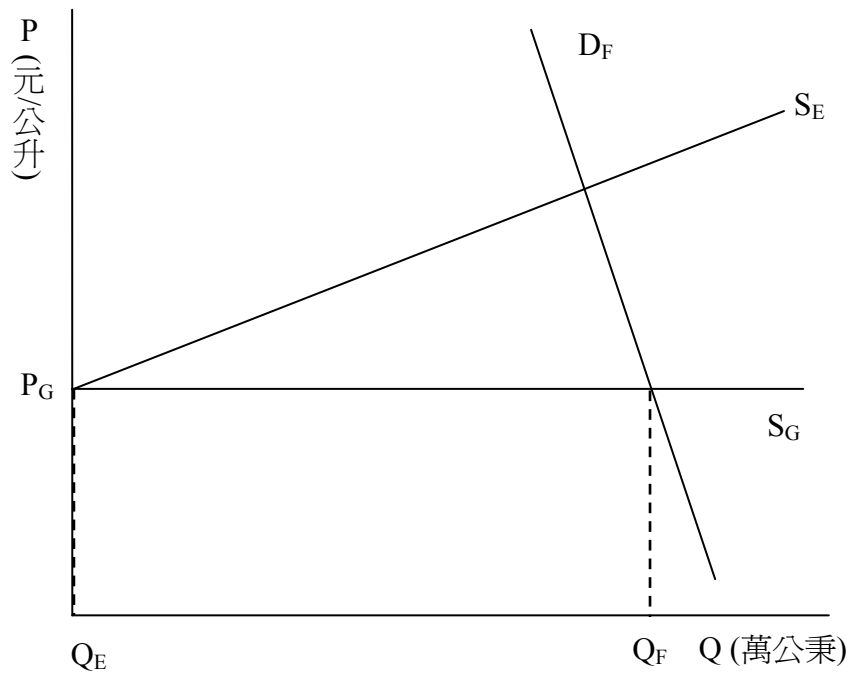


圖 4-2 政府未干預燃料市場經濟模型

依假設條件估算可知，在政府未干預的情形下，燃料需求量 Q_F 為燃料需求函數 D_F 與汽油供給函數 S_G 之均衡點 1056 萬公秉，此時酒精需求量 Q_E 為汽油供給函數 S_G 與酒精供給函數 S_E 之均衡點 0.005 萬公秉，汽油需求量 Q_G 為燃料需求量 Q_F 減去酒精需求量 Q_E ，即 1056 萬公秉。燃料價格 P_F 、酒精價格 P_E 與汽油價格 P_G 基於假設條件皆由汽油供給函數決定為 26.3 元/公升。

(二) 補貼

如下圖 4-3 所示，代表以補貼達成酒精 3% 的添加量。在酒精 3% 添加目標下將使市場上酒精需求量由 Q_E 增加至 Q_{E+S} ，此時 Q_{E+S} 應為 Q_F 乘上添加比例 3%。而在 Q_{E+S} 時對應酒精供給函數 S_E 價格為 P_{E+S} ，這代表在價格為 P_{E+S} 時，廠商才願意生產供給 Q_{E+S} 數量的酒精。然現行市場中汽油價格為 P_G ，低於 P_{E+S} ，故燃料使用者會使用價格 P_G 較便宜之汽油，而不使用價格 P_{E+S} 較貴之酒精，這也代表酒精廠商無法以 P_{E+S} 的酒精價格在自由市場下販售。此時為了達成 Q_{E+S} 需求量的酒精，便需透過政府補貼，降低廠商邊際單位生產成本，使 S_E 平移至 S_{E+S} ，如此才能使酒精廠商在供給價格 P_G 時，願意生產 Q_{E+S} 數量的酒精，即在市場價格為 P_G 時對應補貼後的酒精供給函數 S_{E+S} ，所得酒精供給量為 Q_{E+S} 符

合酒精添加 3% 的目標。此外政府補貼額度則為廠商生產成本減少之差額 S_E 與 S_{E+s} 之差距，即為 s 。

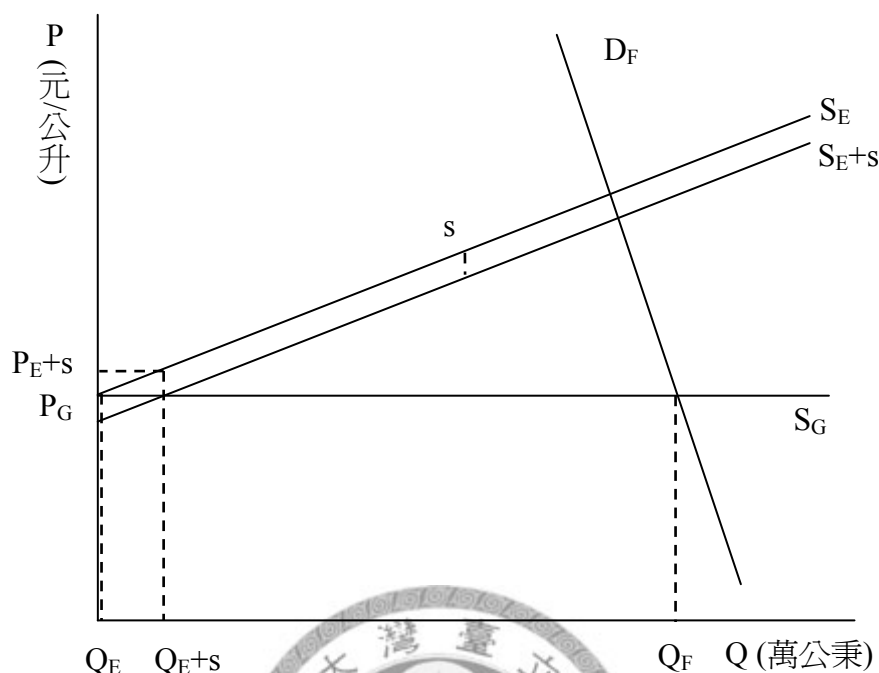


圖 4-3 補貼經濟模型

依估算結果在以補貼達成 3% 添加目標下，燃料需求量 Q_F 為燃料需求函數 D_F 與汽油供給函數 S_G 之均衡點 1056 萬公秉。燃料價格 P_F 基於假設條件由汽油供給函數 S_G 決定為 26.3 元/公升。酒精需求量 Q_{E+s} 為燃料需求量 Q_F 之 3% 即 31.7 萬公秉。酒精價格為酒精供給函數 S_E 在酒精需求量 Q_{E+s} 時對應之均衡價格 P_{E+s} 即 34.2 元。汽油需求量 Q_G 乃燃料需求量 Q_F 減去酒精需求量 Q_{E+s} 為 1024.3 萬公秉。汽油價格 P_G 由汽油供給函數 S_G 決定為 26.3 元/公升。而政府欲透過補貼達成 3% 需求量需要補貼 s ，為當時酒精價格 P_{E+s} 與汽油價格 P_G 的差額 7.9 元/公升。

(三) 強制添加

如下圖 4-4 所示，政府要求強制添加 3% 酒精，會由酒精供給函數 S_E 與汽油供給函數 S_G 依添加比例形成混合燃料供給函數 S_F ，此時燃料供給函數 S_F 會與燃料需求函數 D_F 形成均衡之燃料價格 P_F 與均衡之燃料需求量 $Q_F(3\%)$ ，且均衡價格 P_F 會高於原本的汽油價格 P_G ，並使燃料消費量由原本汽油供給函數 S_G 與

燃料需求函數 D_F 的均衡量 Q_F 減少為燃料供給函數 S_F 與燃料需求函數 D_F 的均衡量 $Q_F(3\%)$ ，共減少燃料需求量 $Q_F - Q_F(3\%)$ 。這代表強制添加 3% 酒精將使原本汽油使用者負擔之燃料價格增加，進而抑制燃料的使用。在強制添加下並會形成酒精需求函數 αD_F ，此函數代表以強制添加達成 3% 酒精添加目標時，在當時均衡燃料價格與均衡燃料需求量下酒精之需求量。即當均衡價格為 P_F 時，燃料均衡需求量為 $Q_F(3\%)$ ，酒精需求為 $Q_E(3\%)$ ，且此時酒精需求量 $Q_E(3\%)$ 應為 $Q_F(3\%)$ 乘上添加比例 α ，即 $\alpha Q_F(3\%)$ 。因此藉由燃料均衡價格 P_F 對應至酒精需求函數 αD_F 即可知強制添加 3% 酒精時的酒精消費量 $Q_E(3\%)$ 。而由酒精需求量 Q_E 對應酒精供給函數 S_E 可得酒精價格 P_E ，這代表在價格為 P_E 時，廠商才願意生產供給 $Q_E(3\%)$ 數量的酒精。又因當時為強制添加，燃料消費者必須接受 P_E 的酒精價格，以使廠商願意生產 $Q_E(3\%)$ 數量的酒精，方能達成目標添加量 3% 時的酒精需求量 $Q_E(3\%)$ 。

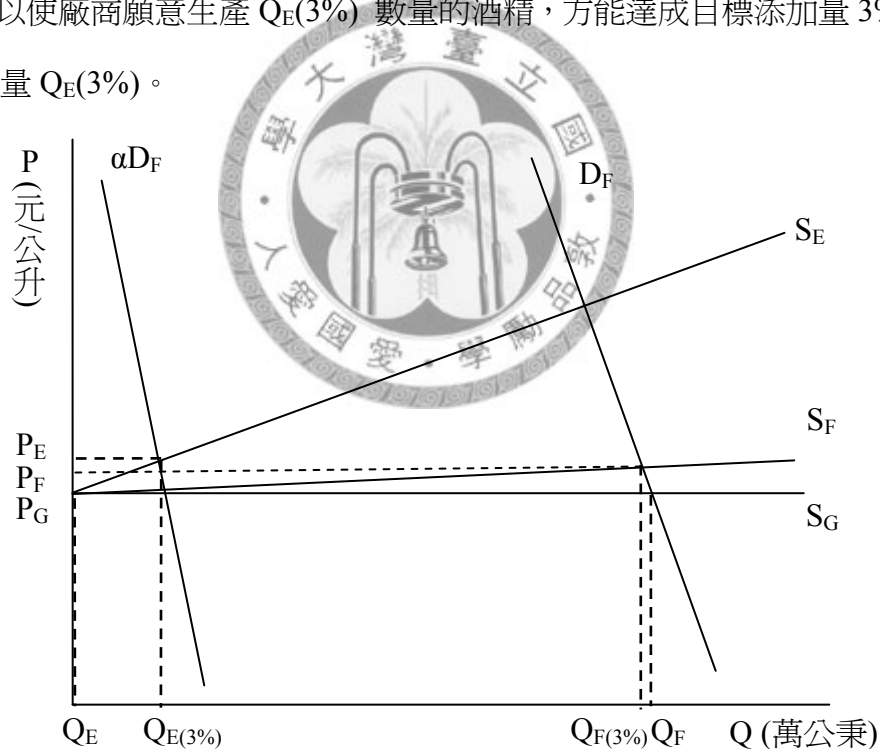


圖 4-4 強制添加經濟模型

依估算結果以強制添加達成 3% 添加目標下，燃料需求量 $Q_F(3\%)$ 為燃料需求函數 D_F 與燃料供給函數 S_F 之均衡點 1056 萬公秉。燃料價格 P_F 亦由此均衡點得知為 26.5 元/公升。酒精需求量 $Q_E(3\%)$ 為當時燃料價格 P_F 對應酒精需求函數 αD_F 之均衡點 31.7 萬公秉。酒精價格 P_E 則為當時酒精需求量 Q_E 對應酒精供給函

數 S_E 之均衡點即 34.2 元/公升。汽油需求量 Q_G 為燃料需求量 $Q_F(3\%)$ 減去酒精需求量 $Q_E(3\%)$ 即 1024.3 萬公秉。汽油價格 P_G 由汽油供給函數 S_G 決定為 26.3 元/公升。

本研究針對前述三個情境加以比較，項目包含燃料、酒精與汽油三者之需求量和價格，整理如下表 4-17。

表 4-17 政策評估結果

		未介入	補貼 3%	強制添加 3%
混合	價格 (元/公升)	26.3	26.3	26.5
燃料	需求量 (萬公秉)	1056	1056	1056
酒精	價格 (元/公升)	26.3	34.2	34.2
	需求量 (萬公秉)	0.005	32	32
汽油	價格 (元/公升)	26.3	26.3	26.3
	需求量 (萬公秉)	1056	1024	1024
補貼	金額 (元/公升)	0	7.9	0

資料來源：本研究整理

從表 4-17 可以看出，在混合燃料的價格與需求量方面，補貼不會產生影響，強制添加在 3% 目標下，燃料價格略為提高，但對燃料需求量的抑制效果並不顯著，惟再添加比例增加時方能突顯抑制燃料用量的效果。酒精價格與需求量受酒精政策目標添加量影響而顯著提高。汽油價格係基於假設條件皆未改變。在汽油需求量方面無論補貼與強制添加都會讓需求量減少，減少幅度於不同政策措施無顯著差異。此外研究中假設生質酒精與汽油為完全替代品，在現實中尚需考慮相關設備改造與使用者習慣等問題。

而儘管政府政策措施可促進廠商獲益，然在實行時同樣需支付成本，由生產消費者剩餘分配的角度而言，補貼是將稅收轉移至酒精廠商，強制添加則是將汽油使用者與汽油廠商的剩餘轉移至酒精廠商。考量各政策措施之效率與剩餘分配，下文乃依據政策評估結果進一步估算政府行補貼所需增加的國庫負擔以及政府採強制添加使汽油使用者增加的負擔。分別整理如下表 4-18。

表 4-18 政策措施成本

	補貼 3%	強制添加 3%
負擔者	政府	汽油消費者
價格差額 (元/公升)	7.9	0.2
負擔總量 (萬公秉)	32	1056
負擔總額 (億元)	25	21

資料來源：本研究整理

表 4-18 之價格差額乃根據政策評估之結果，負擔總量則為當時酒精與燃料均衡需求量，將其相乘則可求得為達政策目標的負擔總額。依估算結果在補貼政策目標為 3% 時政府每年需負擔 25 億元的國庫支出；在強制添加政策目標為 3% 時汽油消費者每年需增加負擔 21 億元。

考量政策措施對生質酒精廠商之影響，依據前述方案評估結果，相思樹經營方案在要求報酬率下不具利潤，故可透過政府政策措施增加廠商之獲利空間以促其經營。配合情境分析政府在目標添加量 3% 時補貼金額與強制添加差額皆為 7.9 元/公升。以此估算政府政策措施對相思樹經營方案之影響，整理如下表 4-19。

表 4-19 政府介入對經營方案之影響 單位：淨現值百萬元

經營方案	未介入	補貼 3%	強制添加 3%
銀合歡	130	1241	1241
孟宗竹	7	519	519
相思樹	-514	-170	-170

資料來源：本研究整理

由表 4-19 可知，在政策目標酒精添加量 3%，補貼與強制添加使銀合歡、孟宗竹與相思樹經營方案淨效益現值依序為 1241、519 與-170 百萬元。其中銀合歡經營方案因本身便有較高利潤，補貼則可使其利潤大幅提升，相思樹經營方案則仍不具利潤。

除政策施行成本外，政策措施之外部效果如對林業部門所創造的需求亦為評估重點。參考政策評估結果所得酒精用量，再配合經營計畫分析結果所得銀合歡酒精轉換率 28.63% 公秉/公噸，孟宗竹酒精轉換率 31.55% 公秉/公噸，銀合歡

單位面積木材收穫量 16.7 公噸/公頃/年，孟宗竹單位面積竹材收穫量 19.4 公噸/公頃/年，經換算可得各政策措施下木竹材需求量與土地面積，整理如下表 4-20。

表 4-20 政策措施對林業部門的影響

	補貼 3%	強制添加 3%
酒精用量 (萬公秉)	32	32
木竹材引申使用量 (萬公噸)		
銀合歡	112	112
孟宗竹	101	101
相思樹	—	—
土地引申使用面積 (萬公頃)		
銀合歡	6.7	6.7
孟宗竹	5.2	5.2
相思樹	—	—

資料來源：本研究整理

從上表 4-20 可知，在以補貼達成目標添加量 3% 時，以銀合歡材為原料需 112 萬公噸並需 6.7 萬公頃種植面積。以孟宗竹材為原料需 101 萬公噸並需 5.2 萬公頃種植面積。相思樹經營方案則因不具利潤暫不納入考量。在以強制添加達成目標添加量 3% 時，以銀合歡材為原料需 112 萬公噸並需 6.7 萬公頃種植面積。以孟宗竹材為原料需 101 萬公噸並需 5.2 萬公頃種植面積。相思樹經營方案同樣因不具利潤暫不納入考量。

承上述政府施行政策措施需考量成本與外部效果，即達成酒精添加量在國內能源自給、二氧化碳減量與提供就業機會活絡農村經濟等帶來的外部效益是否高於所付出的成本，便為政策措施施行與否之評判標準。台灣目前若以酒精添加量 3% 為目標，則無論以補貼或者強制添加所增加的負擔將介於 20 到 30 億元間，所需林地面積介於 5 到 7 萬公頃。若將目標訂為 10% 則會大幅的增加負擔至 270 至 280 億元間，所需林地面積介於 17 到 23 萬公頃。

實務上執行政策措施，補貼可從林農端生產成本補貼，或由廠商端課稅減免及建立政府蒐購碳排放權機制等，各執行方式將會影響林農與酒精廠商利潤之分配。而補貼之執行若能使外部效果內部化，如透過碳排放權機制配合能源稅之課

徵等，將可達到區隔補貼的效果使補貼更具效率。強制添加則屬於從量行政管制，具體的補助方式如制訂再生燃料標準，規範應使用再生燃料之比例。而這樣的作法相對於補貼，短期內可在政府政策投入成本相對較小，便達到具體的目標。然此法在執行上因明確增加相關利益團體如燃料使用者之負擔，執行上勢必遭受較多阻力。

綜合而言，無論補貼或強制添加皆能有效促進酒精產業之發展，對於酒精廠商之獲益亦能顯著提升。在政策目標為酒精添加 3% 時，以補貼政府需負擔 25.28 億元的國庫支出，以強制添加汽油消費者需增加負擔 21.12 億元。



第五章 結論

本研究台灣經營短輪伐期木質作物氣化合成酒精之探討，比較銀合歡、孟宗竹與相思樹三種不同營林策略。首先蒐集基礎資料建立投入產出表與現金流量表，進而應用成本效益分析，比較三經營方案在經營方式、產出效率與成本效益衡量指標之差異，依此選擇合適之經營方案。並以敏感度分析考量經營方案的風險，最後探討政府補貼與強制添加之政策措施在 3%與 10%目標添加量下，對於燃料市場、經營方案與剩餘分配之影響。

依據模擬結果顯示，銀合歡經營方案屬較集約之經營方式，酒精產出效率為 4.77 公秉/公頃/年，淨收益現值 13,034 萬；益本比 1.05；內部報酬率 14.45%；成本價 17.92 元/公升。孟宗竹經營方案亦屬較集約之經營方式，酒精產出效率為 6.12 公秉/公頃/年，淨收益現值 754 萬；益本比 1.00；內部報酬率 12.74%；成本價 19.35 元/公升。相思樹經營方案則較不集約，酒精產出效率為 4.10 公秉/公頃/年，淨收益現值-51,420；益本比 0.74；內部報酬率 7.34%；成本價 32.26 元/公升。從上述衡量指標可知若欲在台灣利用短輪伐期木質作物發展氣化合成生質酒精，在以成本效益最大為目標時則以銀合歡經營方案較為合適。但若以有限土地生產最多國內生質酒精為目標時，則以孟宗竹經營方案最為合適。

就敏感度分析因銀合歡與孟宗竹經營方案尚具利潤，須對方案中重要變數行風險評估。當銀合歡經營方案木材產量比預期減產 10%淨效益現值減少 105%；林農工資上漲 30%淨效益現值減少 108%；運作成本增加 30%淨效益現值減少 44%；酒精價格減少 10%淨效益現值減少 122%。當孟宗竹經營方案當竹材產量減少 10%淨效益現值減少 1280%。林農工資上漲 10%淨效益現值減少 647%。運作成本增加 10%淨效益現值減少 153%。酒精價格減少 10%，淨效益現值減少 1486%。由上述敏感度分析可知，木竹材產量與酒精價格為重要變數，對經營方案淨效益現值影響顯著。其中銀合歡經營方案因有較高的利潤，能夠比孟宗竹經營方案承受更高的風險。

在政策措施探討當政府政策目標為 3% 酒精添加量時，銀合歡、孟宗竹與相思樹三經營方案淨效益現值依序為 1241、519 與-170 百萬元。另就剩餘分配的角度來看，政策目標為酒精添加 3% 時，以補貼政府需負擔 25.28 億元的國庫支出，以強制添加汽油消費者需增加負擔 21.12 億元。

就本研究評估之結果，銀合歡與孟宗竹經營較集約且皆有利潤。台灣利用短輪伐期木質作物氣化合成酒精實具發展潛力。本研究所擬定銀合歡、孟宗竹與相思樹三經營計畫中，其中孟宗竹的產出效率最高，而銀合歡利潤最高。然銀合歡有入侵其他林地對環境造成威脅的可能，同是不能忽視的社會成本。孟宗竹與相思樹則已有相當之蓄積，若能利用既有蓄積進行疏伐、撫育和天然更新，可減少初期造林成本提高經營收益。

政府為因應京都議定書對溫室氣體減量之規範，乃有召開全國能源會議與研擬再生能源發展條例草案，制定生質燃料推廣量與租稅減免辦法等。依此政策趨勢，若能配合碳稅交易補貼或者政府要求強制添加政策，將可提高生質酒精的需求，減少酒精價格下跌的風險，促成酒精產業的發展。在符合個人利益的同時達成社會福祉之增加，藉此凝聚更多的資源，達到國家安全、經濟發展、環境保護與社會安定等多重效益，為我們生活的環境帶來真正永續長久之助益。

參考文獻

- 王子定 (1982) 銀合歡之培育與生產。行政院農業發展委員會。
- 王子定 (1988) 現代育林學。台北：國立編譯館。
- 王子定、高毓斌 (1980) 孟宗竹地上部生物量、淨生長量及碳積聚。國立台灣大學森林所碩士論文。
- 王子定、郭寶章、高毓斌 (1985) 台灣孟宗竹之乾物生產與生物性養分循環。國家科學委員會補助計劃總結報告。
- 古森本 (2008) 生質能源作物之開發與潛力。農業生技產業專刊 13：46-53。
- 台灣綜合研究院 (2007) 我國石油供需預測。石油市場雙周報。2007.05.03。
- 左峻德 (2007) 我國發展生質能源產業之可行性。植物種苗生技 9：56-61。
- 左峻德、蘇美惠 (2007) 國內外生質酒精發展策略與推廣現況 7-16。
- 李守仁 (1993) 台灣地區竹產業與竹市場之研究。國立台灣大學森林所碩士論文。
- 李克聰 (2006) 工程經濟學。台北：華泰文化公司。
- 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。
- 林裕仁、劉瓊霖、林俊成 (2002) 台灣地區主要用材比重與碳含量測定。台灣林業科學17(3)：291-299。
- 張四立 (2007) 我國汽油之最適價差及補貼經費規模之初探。石油市場雙周報。2007.07.25。
- 程煒兒、沈慈安 (1987) 恆春地區三至五年生銀合歡林分地上部養分聚積與循環。林業試驗所研究報告季刊 2(4)：253-272。
- 黃瀨儀、黃宗煌 (2006) 推廣能源作物生產的問題與政策調和。能源季刊：1-13。
- 黃韻勳、吳榮華 (2008) 我國發展生質燃料的利基與問題。碳經濟 8：2-12。
- 劉宣成、高毓斌 (1988) 孟宗竹與銀合歡人工林生物量之綜合關係式。林業試驗所研究報告季刊 3(1)：393-406。
- 劉宣成、高毓斌 (1988) 孟宗竹與銀合歡人工林生物量之綜合關係式。林業試驗所報告研究季刊 3(1)：393-406。

- 劉慎孝、林子玉 (1968) 台灣中南部相思樹林分收穫表及材積表。中興大學農學院森林學系。
- 鄭欽龍 (1994) 森林資源利用與永續性—森林最適輪伐期之探討。中華林學季刊 27(4)：63-74。
- 林務局 (2009) 林務局木材市價各類報表查詢。2009 年3月20 日，取自：
<http://woodprice.forest.gov.tw/forest-wood/passlogin2.asp>
- 經濟部能源局 (2008) 油價資訊管理與分析系統。2009 年3月20 日，取自：
<http://210.69.152.10/oil102/>
- Agra, C. and F. O. Licht (2006) How Canada Ranks: A Comparative Study of National Biofuels Policies World-wide. Report for the Canadian Renewable Fuels Association.
- Alzate, C. A. C. and O. J. S. Toro (2006) Energy consumption analysis of integrated flowsheets for production of fuel ethanol from lignocellulosic biomass Energy 31: 2447-2459.
- BRI Energy and Bioengineering Resource Inc. (2005) Gasification-Fermentation pilot facility. BRI Energy and Bioengineering Resource Inc.
- Coltrain, D. (2004) Risk factors in ethanol production. Department of Agricultural Economics.
- Demirbas, A. (2001) Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. Energy Conversion and Management 42: 1357-1378.
- Demirbas, A. (2007) Progress and recent trends in biofuels. Progress in Energy and Combustion Science 33: 1-18.
- Doering, O. C. (2004) U.S. Ethanol Policy: Is It the Best Energy Alternative? Current Agriculture, Food & Resource Issues 5: 204-211.
- Donald, I. D. (2006) Silviculture and biology of short-rotation woody crops in temperate regions: Then and now. Biomass and Bioenergy 30: 696-705.
- Donald, J. M. (2005) Opportunities for improving plantation productivity. How much? How quickly? How realistic? Biomass and Bioenergy 28: 249-266.
- Elauria, J. C., M. L. Y. Castro and D. A. Racelis (2003) Sustainable biomass production for energy in the Philippines. Biomass and Bioenergy 25: 531-540.
- Faúndez, P. (2004) Potential costs of four short-rotation silvicultural regimes used for the production of energy. Biomass and Bioenergy 24: 373-380.

- FAO (2008) High-level conference on world food security. The challenges of climate change and bioenergy.
- Gan, J. and C. T. Smith (2007) Co-benefits of utilizing logging residues for bioenergy production: The case for East Texas, USA. *Biomass and Bioenergy* 31: 623-630.
- Gardner, B. (2003) Fuel Ethanol Subsidies and Farm Price Support: Boon or Boondoggle? Department of Agricultural and Resource Economics.
- Gardner, B. (2007) Fuel Ethanol Subsidies and Farm Price Support. *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization* 5(4): 1-20.
- Gorter, H. D. and D. R. Just (2007) The economics of a biofuel consumption mandate and excise-tax exemption: An empirical example of U.S. ethanol policy. Munich Personal RePEc Archive No. 5503.
- Graham, R. L., L. L. Wright and A. F. Turhollow (1992) The potential for short-rotation woody crops to reduce U. S. co2 emission. *Climate Change* 22(3): 223-238.
- Hahn, R. and C. Cecot (2008) The Benefits and Costs of Ethanol: An evaluation of the government's analysis. AEI Center for Regulatory and Market Studies. Telos Ingenia Consultants & Engineers.
- Hitofumi A., A. Katayama, P. S. Bhuvneshwar, T. Tsuyoshi, S. Sat, P. Phon, A. A. Mark and F. G. Pauline (2007) Potential for rural electrification based on biomass gasification in Cambodia. *Biomass and Bioenergy* 31: 656-664.
- Horngren, C. T., F. George and M. D. Srikant (1994) Cost accounting : a managerial emphasis. Prentice Hall.
- Innovative Natural Resource Solutions (2006) Wood-Based Bio-Fuels and Bio-Products: A Maine Status Report. Maine Department of Economic & Community Development Office of Innovation.
- International Energy Agency (2004) Biofuels For Transport An International Perspective: 171-179.
- International Energy Agency (2007) Biofuel Production. IEA Energy Technology Essentials.
- Kasteren, J. M. N. V. (2005) Bio-ethanol from bio-syngas. Technische Universiteit Eindhoven.
- Kim, S. and B. E. Dale (2004) Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass and Bioenergy* 26: 361-375.

- Kimmins, J. P. (1997) Sustainability of forest bioenergy production in the face of changing paradigms. *Biomass and Bioenergy* 13: 201-212.
- Koh, M. P. and W. K. Hoi (2003) Sustainable biomass production for energy in Malaysia. *Biomass and Bioenergy* 25: 517-529.
- Kszos, L. A., M. E. Downing, L. L. Wright, J. H. Cushman, S. B. McLaughlin, V. R. Tolbert, G. A. Tuskan and M. E. Walsh (2000) Bioenergy feedstock development program status report. Environmental Sciences Division Publication No. 5049.
- Malça, J. and F. Freire (2006) Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bio-ethyl tertiary butyl ether (bioETBE): Assessing the implications of allocation. *Energy* 31: 3362-3380.
- Manley, A. and J. Richardson (1995) Silviculture and economic benefits of producing wood energy from conventional forestry systems and measures to mitigate impacts. *Biomass and Bioenergy* 9: 89-105.
- NREL (2007) Next Generation Fuels-What's Old Is New Again. A national laboratory of the U. S. Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy.
- NREL (2007) Research Advances Cellulosic Ethanol. A national laboratory of the U. S. Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy.
- NREL (2007) Thermochemical Ethanol via Indirect Gasification and Mixed Alcohol Synthesis of Lignocellulosic Biomass. A national laboratory of the U. S. Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy.
- Richard, Z. and D. D. Dwight (1994) Benefit-cost analysis in theory and practice. HarperCollins College Publishers.
- Sochacki, S. J., R. J. Harper and K. R. J. Smettemb (2007) Estimation of woody biomass production from a short-rotation bio-energy system in semi-arid Australia. *Biomass and Bioenergy* 31: 608-616.
- Tharakan, P. J., A. V. Timothy, C. A. Lindsey, L. P. Abrahamson and E. H. White (2005) Evaluating the impact of three incentive programs on the economics of cofiring willow biomass with coal in New York State. *Energy Policy* 33: 337-347.
- Tuskan G. A. (1998) Short-rotation woody crop supply systems in the united states: What do we know and what do we need to know? *Biomass and Bioenergy* 14(4): 307-315.

- Tyner, W. E. and F. Taheripour (2007) Renewable Energy Policy Alternatives for the Future. American Agricultural Economics Association 89(5) : 1303-1310.
- Tyner, W. E. and M. Caffè (2007) US and French Biofuels Policy - Possibilities for the Future. Purdue University.
- USDA (2006) The economic feasibility of ethanol production from sugar in the united states. United State Department of Agriculture.
- Updegraff, K., M. J. Baughman and S. J. Taff (2004) Environmental benefits of cropland conversion to hybrid poplar: economic and policy considerations. Biomass and Bioenergy 27: 411-428.
- Weimer, D. L. and A. R. Vining (2005) Policy analysis : concepts and practice. Pearson Prentice Hall.
- Wright, L. L. and A. R. Ehrenshaft (1990) Short rotation woody crops program: annual progress report for 1989. Environmental Sciences Division Publication No. 3484.
- Gary Schnitkey (2007) Crude oil price variability and its impact on break-even corn prices. Retrieved March 1, 2009, from the Farmdoc University of Illinois: http://www.farmdoc.uiuc.edu/manage/newsletters/fefo07_11/fefo07_11.html
- Official Nebraska Government (2008) Ethanol and Unleaded Gasoline Average Rack Prices. Retrieved March 1, 2009, from the Official Nebraska Government Website: <http://www.neo.ne.gov/statshhtml/66.html>

附錄

表一、NREL 時間波動修正指數

年	指數	年	指數
1990	357.6	1998	389.5
1991	361.3	1999	390.6
1992	358.2	2000	394.1
1993	359.2	2001	394.3
1994	368.1	2002	395.6
1995	381.1	2003	402.0
1996	381.7	2004	444.2
1997	386.5	2005	468.2

資料來源：NREL (2007)

表二、台灣汽油價格與需求量

年	價格(元/公升)	數量(萬公秉)
2000	19.64	946.8
2001	19.51	953.8
2002	18.8	973.3
2003	20.03	1012.8
2004	22.09	1037.5
2005	23.94	1058.1
2006	26.76	1031.7
2007	28.3	1080.6

資料來源：經濟部能源局、台灣綜合研究院(2007)

註：2007 年為研究之推估質

供給需求函數之推算

燃料需求函數 D_F 參考張四立 (2007) 估計，假設在價格 $P=26.75$ 元/公升時燃料需求價格彈性 $\eta_F=0.063$ ，帶入計算式 3-11。

$$\eta_F = \frac{P}{a - P}$$

$$a = 450.85$$

再依據能源局 (2008) 2005 年至 2007 年汽油平均之價格 $P=26.3$ 元/公升與台灣綜合研究院 (2007) 2005 年至 2007 年汽油平均需求量 $Q=1056$ 萬公秉，帶入函數式 $P=f(Q)=a+bQ$ 。

$$P = a + bQ$$

$$b = -0.402$$

將求得之 $a=450.85$ 與 $b=-0.402$ 值代入，得燃料需求函數 D_F 為：

$$P = 450.85 - 0.402Q$$

酒精需求函數 αD_F 參照 Gorter & Just (2007) 模型假設建立之 3-9 式。並將求得之燃油需求函數 D_F 函數式的 $a=450.85$ 與 $b=-0.402$ 代入 3-10 式，得酒精需求函數 αD_F 為：

$$P = a + bQ/\alpha$$

$$P = 450.85 - 0.402Q/\alpha$$

汽油供給函數 S_G 依據能源局 (2008) 2005 年至 2007 年汽油平均之價格 $P=26.3$ 元/公升，代入函數式 $P=e$ 得汽油供給函數 S_G 為：

$$P = 26.3$$

酒精供給函數 S_E 參考 Gardner (2003) 估計，假設在價格在 $P=35.065$ 元/公升間時酒精供給價格彈性 $\eta_E=4.0$ 。帶入計算式 3-11。

$$\eta_E = \frac{P}{P - c}$$

$$c = 26.29875$$

再依據能源局 (2008) 2005 年至 2007 年汽油平均價格 $P=26.3$ 元/公升與台灣中油詢問結果，假設酒精需求量 $Q=0.005$ 萬公秉，帶入函數式 $P=f(Q)=c+dQ$ 。

$$P = c + dQ$$

$$\gg d = 0.25$$

將 $c=26.3$ 與 $d=0.25$ 值代入得燃料需求函數 D_F 為：

$$P = 26.3 + 0.25Q$$

燃料供給函數 S_F 參照 Gorter & Just (2007) 模型假設建立之 3-12 式。並將求得之酒精供給函數 S_E 函數式的 $c=26.3$ 與 $d=0.25$ 以及汽油供給函數 S_G 函數式的 $e=26.3$ 代入 3-13 式，得酒精需求函數 αD_F 為：

$$P = \alpha c - \alpha e + e + d\alpha^2 Q$$

$$P = 26.3 - 0.001\alpha + 0.25\alpha^2 Q$$



政策措施結果之推算

政府未干預下，均衡之燃料價格 P_F 依假設條件與汽油價格 P_G 相同，故由汽油供給函數 S_G 所決定為：

$$P_F = 26.3 \text{ (元/公升)}$$

均衡之燃料需求量 Q_F 以燃料需求函數 D_F 與汽油供給函數 S_G 聯立求得為：

$$\begin{cases} D_F & P = 450.85 - 0.402Q \\ S_G & P = 26.3 \end{cases}$$

$$Q_F = 1056$$

均衡之酒精價格 P_E 依假設條件與汽油價格 P_G 相同，故由酒精供給函數 S_E 所決定為：

$$P_E = 26.3 \text{ (元/公升)}$$

均衡之酒精需求量 Q_E 以酒精供給函數 S_E 與汽油供給函數 S_G 聯立求得為：

$$\begin{cases} S_E & P = 26.3 + 0.25Q \\ S_G & P = 26.3 \end{cases}$$

$$Q_E = 0$$

均衡之汽油價格 P_G 由汽油供給函數 S_G 所決定為：

$$P_G = 26.3 \text{ (元/公升)}$$

均衡之汽油需求量 Q_G 以燃料需求量 Q_F 減去酒精需求量 Q_E 為：

$$Q_G = 1056$$

在補貼達成 3% 用量下，均衡之燃料價格 P_F 依假設條件與汽油價格 P_G 相同，故由汽油供給函數 S_G 所決定為：

$$P_F = 26.3 \text{ (元/公升)}$$

均衡之燃料需求量 Q_F 以燃料需求函數 D_F 與汽油供給函數 S_G 聯立求得為：

$$\begin{cases} D_F & P = 450.85 - 0.402Q \\ S_G & P = 26.3 \end{cases}$$

$$Q_F = 1056 \text{ (萬公秉)}$$

均衡之酒精需求量 Q_E 以燃料需求量 Q_F 乘上添加比例 α (3%) 求得為：

$$Q_E = 31.68 \text{ (萬公秉)}$$

均衡之酒精價格 P_E 由酒精需求量 Q_E 代入酒精供給函數 S_E 求得為：

$$P_E = 34.22 \text{ (元/公升)}$$

均衡之汽油價格 P_G 由汽油供給函數 S_G 所決定為：

$$P_G = 26.3 \text{ (元/公升)}$$

均衡之汽油需求量 Q_G 以燃料需求量 Q_F 減去酒精需求量 Q_E 為：

$$Q_G = 1024.32 \text{ (萬公秉)}$$

政府補貼之差額 s (3%) 為酒精價格 P_E 減去汽油價格 P_G 為：

$$s(3\%) = 7.92 \text{ (元/公升)}$$

在強制添加達成 3% 用量下，均衡之燃料價格 P_F 與需求量 Q_F 以燃料需求函數 D_F 與燃料供給函數 $S_F(3\%)$ 聯立求得為：

$$\begin{cases} D_F & P = 450.85 - 0.402Q \\ S_{F(3\%)} & P = 26.3 - 0.001\alpha + 0.25\alpha^2Q \end{cases}$$

$$P_F = 26.5 \text{ (元/公升)}$$

$$Q_F = 1056 \text{ (萬公秉)}$$

均衡之酒精需求量 Q_E 由燃料價格 P_F 代入酒精需求函數 $\alpha D_F(3\%)$ 求得為：

$$\alpha D_{F(3\%)} P = 450.85 - 0.402Q/\alpha$$

$$Q_E = 31.68 \text{ (萬公秉)}$$

均衡之酒精價格 P_E 由酒精需求量 Q_E 代入酒精供給函數 S_E 求得為：

$$P_E = 34.22 \text{ (萬公秉)}$$

均衡之汽油價格 P_G 由汽油供給函數 S_G 所決定為：

$$P_G = 26.3 \text{ (元/公升)}$$

均衡之汽油需求量 Q_G 以燃料需求量 Q_F 減去酒精需求量 Q_E 為：

$$Q_G = 1024.32 \text{ (萬公秉)}$$

