

南華大學企業管理系管理科學博士論文

A DISSERTATION FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY

Ph. D PROGRAM IN MANAGEMENT SCIENCES

DEPARTMENT OF BUSINESS ADMINISTRATION

NANHUA UNIVERSITY

從麻瘋樹在台灣之種植及其能源效果

探討台灣生質能源之發展

DERIVATION OF TAIWAN BIOFUEL DEVELOPMENT FROM
LOCAL JATROPHA CURCAS PLANTING AND ITS ECONOMIC IMPACTS

指導教授：陳焱勝 博士

ADVISOR : MIAO-SHENG CHEN Ph.D.

研究生：楊金昌

GRADUATE STUDENT : CHIN-CHANG YANG

中 華 民 國 1 0 0 年 6 月

南 華 大 學

企業管理系管理科學博士班

博 士 學 位 論 文

從麻瘋樹在台灣的種植及其能源效果探討台灣生質
能源的發展

研究生：楊金高

經考試合格特此證明

口試委員：謝東昇

林裕仁

吳光紀

陳嘉謙

陳中漢

指導教授：陳嘉謙

系主任：葉維昆

口試日期：中華民國 100 年 6 月 22 日

誌謝

本論文得以完成，首先感謝的是指導教授：陳焱勝校長，在管理觀念上的諄諄教誨及悉心指導。另外要感謝：陳中獎院長、林裕仁教授、賴奎魁教授、林進財教授、藍俊雄教授、莊鎧溫教授、褚麗娟教授、陳券彪教授、趙家民教授、范惟翔教授、應立志教授、鍾燕宜教授、劉麗雲教授、陳郁文教授等耐心的指正及教導，讓論文更為完備。

特別感謝共同研究、共事及討論的同學及同仁：呂植圳、李佳玲、潘美秋、巴特、劉國鑑、許澤宇、杜志勇、魏人偉、施美淑、涂耀仁、傅榮勝、陳永怡、吳坤烈、吳義隆等多位的協助，使我能順利完成此論文。

謹以此論文獻給先父：楊仁省、我的慈母：楊李定、三叔父：楊長、內人：蔡麗絲等位的全力支持及鼓勵，讓我在工作多年之餘，有毅力再回學校持續做研究；更讓我在低潮的時段，提起勇氣，保持耐力，及堅持執行力，創造新高峰。

楊金昌

謹誌於 南華大學

南華大學企業管理系管理科學博士班
九十九學年度第二學期博士論文摘要

論文題目：

從麻瘋樹在台灣之種植及其能源效果探討台灣生質能源的發展

研究生：楊金昌

指導教授：陳焱勝 博士

論文摘要內容：

綠色能源是全球趨勢，不僅可以解決能源短缺的問題，還可以克服溫室氣體大量增加的問題。麻瘋樹的種植以及麻瘋樹生質柴油的發展是目前國際上解決能源及環境問題的主要方法之一。麻瘋樹可以生長在貧瘠的土地、種子含油量高、麻瘋樹籽油可提煉生質柴油、種植麻瘋樹可以吸收二氧化碳，減緩溫室效應，所以目前國際上積極推展麻瘋樹種植以及提煉麻瘋樹生質柴油。國外在非洲及亞洲正大量種植，國內目前較少有規模的麻瘋樹研究及種植。

本研究自 2008 年開始於苗栗縣種植麻瘋樹，觀察育苗、移植、撫育等狀況，統計發芽率、成活率、樹高、結果株比例、種子收成量、種子含油率等。結果顯示發芽率 80.5%、幼苗移植成活率 94%、當年度結果株比例 21%、單株結蒴果 3-19 顆。第 3 年種子每公頃可收成量 3,024 公斤，種子含油率 35.1%。平均每公頃每年生產成本 56,264 元，每公斤麻瘋樹種子成本 18.6 元，提煉生質柴油，每公升成本 56.5 元，較自產的大豆、葵花籽、油菜籽來源生質柴油低。

顯示麻瘋樹適合在台灣生長，值得在台灣推廣種植及發展麻瘋樹生質柴油，既可種樹吸收二氧化碳，減少溫室效應；並且麻瘋樹生質柴油可以替代石化柴油，解決能源問題，同時提高台灣能源自主率。可利用荒地、山坡地、原鄉部落種植麻瘋樹，建議政府將麻瘋樹列入獎勵造林

補助的樹種，以提高種植意願。

台灣發展生質能源建議：開發適當的生質能源來源物種、政府獎勵種植及生產生質能源、政府掌控行銷通路。

關鍵詞： 麻瘋樹、綠色能源、生質柴油、生質能源、環境管理

Title of Thesis : Derivation of Taiwan Biofuel Development from Local
Jatropha curcas Planting and Its Economic Impacts

Department : Ph.D. Program in Management Sciences, Department of Business
Administration, Nanhua University

Graduate Date : June 2011 **Degree Conferred** : Ph.D.

Name of Student : Chin-Chang Yang **Advisor** : Miao-Sheng Chen Ph.D.

Abstract

A gradual substitution of fossil energy by renewable energy is a global trend, which not only resolves the increasingly critical energy shortage problem, also eases the crisis of greenhouse effect. Planting jatropha curcas and developing jatropha diesel is one of major approach to resolve the nowadays energy and environmental difficulties. Jatropha curcas can grow on a lean soil and absorb carbon dioxide to ease the global warming anxiety. Its seeds are oil rich and can extract bio-diesel fuel to provide a substitute fuel. For this reason, planting jatropha curcas and extracting jatropha diesel are booming business internationally. Outside Taiwan, especially in Africa and Asia, many massive planting jatropha curcas projects are put forward. Nevertheless, it has very few meaningful projects ongoing in Taiwan.

Our research of planting Jatropha curcas in Miaoli County, Taiwan, which encompass of growing seedlings, transplanting, nurturing, reckoning its sprouting rate, surviving rate, tree height, fruitage percent and etc. Our results show 80.5% germination percentage, 94% sapling transplant surviving rate, and 21% fruitage tree count and 3~19 capsules per tree. The seeds harvest 3,024 kgs per hectare in the 3rd year, and the seed oil content is 35.1%. The annular planting cost is NT\$ 56,264 per hectare, and the harvested jatropha seed cost is NT\$ 18.6 per Kg. The refined biodiesel cost is NT\$56.5 per liter, which is lower than the biodiesel from domestic soybean, sunflower seed, and rapeseed.

These preliminary results are comparable to the foreign growing statistics or even better and indicate *Jatropha curcas* are suitable to be grown in Taiwan, worth to be popularized and apt to develop *Jatropha* biodiesel fuel. Its benefits include absorbing carbon dioxide gas, reducing greenhouse effect, substituting fossil fuel, easing energy shortage crisis and, in the mean time, raising Taiwan energy autonomous rate.

The suggestions for the biofuels develop in Taiwan: carefully selected appropriate energy crops, government incentives grow and produce biofuels, and controlled the marketing channels.

Keywords : *Jatropha curcas*, Green energy, Biodiesel fuel, Bio-energy,
Environmental management

目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	iii
目錄.....	v
表目錄.....	vii
圖目錄.....	viii
第一章 緒論	1
1.1 當前的環保及能源問題	1
1.2 麻瘋樹的種植及其環境與能源效益.....	14
1.3 我國的獎勵造林政策.....	16
1.4 研究目的.....	18
第二章 文獻探討.....	21
2.1 麻瘋樹的生物學和生態學特性.....	21
2.2 麻瘋樹的開發利用價值.....	25
2.3 台灣生質柴油的推動.....	31
第三章 研究方法.....	33
3.1 麻瘋樹試種地調查.....	33
3.2 麻瘋樹試種.....	33
3.3 採摘麻瘋樹種子的數量及品質	35
第四章 研究結果與討論.....	36
4.1 麻瘋樹試種地概況.....	36
4.2 育種.....	38
4.3 移植及管理.....	39
4.4 種子收成量.....	43
4.5 種子含油率.....	46
4.6 麻瘋樹產業成本分析.....	46
4.7 台灣推廣麻瘋樹產業的 SWOT 分析.....	52
4.8 台灣建立麻瘋樹產業策略規劃.....	62
4.9 台灣生質能源的發展策略建議.....	64
第五章 結論與建議.....	67
5.1 結論.....	67
5.2 建議.....	67
5.3 研究限制	68
參考文獻.....	69
一、中文部分.....	69
二、英文部分.....	78

附錄.....	80
個人簡歷.....	86

表目錄

表 1.1	人類活動排放的主要溫室氣體.....	2
表 1.2	2007 年全世界的二氧化碳年排放量.....	4
表 1.3	全球能源資源總蘊藏量及可使用年數.....	6
表 1.4	2008 年我國能源總供給結構.....	9
表 1.5A	2011 年台灣再生能源(太陽光電除外)發電設備電能 躉購費率.....	11
表 1.5B	2011 年台灣太陽光電發電設備電能躉購費率.....	11
表 1.6	各種再生能源技術的成本.....	12
表 1.7	台灣生質能源推動目標.....	14
表 1.8	我國近年獎勵造林政策.....	17
表 1.9	綠海計畫造林樹種及每公頃栽植株數表.....	18
表 2.1	生物柴油與石化柴油的排放特性比較.....	29
表 2.2	台灣中油公司 B100 生質柴油採購價格.....	32
表 4.1	苗栗地區平均氣象資料.....	37
表 4.2	麻瘋樹種植地土質分析.....	38
表 4.3	麻瘋樹種植地水源分析.....	38
表 4.4	種子播種的結果.....	39
表 4.5	麻瘋樹種子播種三個月後生長狀況.....	39
表 4.6	麻瘋樹當年度發育結果狀況統計.....	41
表 4.7	每棵麻瘋樹的平均種子收成量.....	44
表 4.8	麻瘋樹種子千粒重.....	45
表 4.9	麻瘋樹種子含油率.....	46
表 4.10	麻瘋樹種植成本結構.....	48
表 4.11	麻瘋樹種植損益分析.....	49
表 4.12	麻瘋樹籽油成本分析.....	49
表 4.13	國內植物油生產成本比較.....	50
表 4.14	麻瘋樹生質柴油生產成本分析.....	51
表 4.15	國內能源作物產製生質柴油成本.....	51
表 4.16	台灣企業建立麻瘋樹產業的 SWOT 分析.....	53
表 4.17	政府補助麻瘋樹種植的損益.....	62
表 4.18	台灣中油公司 98 年及 99 年繳交空污費明細.....	64

圖目錄

圖 1.1 研究流程.....	20
圖 2.1 麻瘋樹生長帶.....	24
圖 2.2 麻瘋樹各部分的應用.....	27
圖 4.1 麻瘋樹於栽種當年度(1)開花，(2)結果.....	40
圖 4.2 單枝結 14 個.....	41
圖 4.3 麻瘋樹蒴果、種子、種仁照片.....	42
圖 4.4 夏季溫度較高，麻瘋樹樹葉茂密翠綠.....	43
圖 4.5 冬季氣溫較低，在寒流過後，樹葉逐漸枯萎掉落.....	43
圖 4.6 各種生物質開發的生質燃料成本.....	55

第一章 緒論

1.1 當前的環保及能源問題

當人們追求經濟成長、高科技產品開發及物質文明享受的同時，可其背後正付出的慘痛代價～溫室氣體被大量生產出來，這是當今全球暖化的最主要因素，面對日益嚴重的全球暖化與自然資源枯竭的現象，如何在追求經濟科技進步的同時，更能兼顧環境生態的保護，這正是值得我們深思、刻不容緩的議題。

1.1.1 地球逐漸暖化

自從十八世紀工業革命以來，大量機械取代人力及獸力，帶動文明快速發展，也由於需要大量的工業機械化、機動車輛、電力...等，都需要大量的天然資源，例如煤礦、原油、天然氣等，大量的煤礦、石油以及天然氣的使用，產生二氧化碳，導致地球溫室氣體增加，因而產生溫室效應 (Greenhouse Effect)，全球氣候不規則的變遷，給人類及大自然帶來莫大的改變。

自工業革命以來，大氣二氧化碳的含量已增加逾 30%，溫室效應導致地表平均溫度在 20 世紀上昇攝氏 0.6 度 (吳國卿，2008)。地表溫度的上升，導致北極冰原逐漸融化；出現於大西洋及太平洋的大型暴風雨在持續時間及強度上，均大幅增加；位於南太平洋的島國圖瓦魯 (Tuvalu)，海平面上升，陸地逐漸被海水淹沒，居民紛紛移往紐西蘭。

台灣也正面臨溫室效應的襲擊，自 20 世紀以來台灣百年的平均溫度在百年內大約上升攝氏 1.4 度，是同期全球平均增溫的 2 倍 (陳雲蘭，2008)；2009 年 8 月 6 日至 8 月 10 日於台灣中南部及東南部發生嚴重水災，起因為莫拉克颱風侵襲台灣所帶來創紀錄的雨勢，許多災區在一夜間下了超過 100 公分的雨

量，淹村、橋斷、樓倒、百姓傷亡，稱為「八八風災」或「莫拉克風災」。為台灣自1959年八七水災以來最嚴重的水患。緊接著，2010年「凡那比颱風」與「梅姬颱風」於9月及10月入侵人口密集的都會區，發生類似的短時暴雨，岡山與蘇澳分別各有2人及38人傷亡。暴雨量越下越多，暴雨的頻率越來越高，顯示台灣的環境及氣候問題比全球狀況更加嚴重，急待解決。

1.1.2 地球暖化的責任問題

表 1.1 人類活動排放的主要溫室氣體。對氣候變化影響最大的是二氧化碳，占有所有主要溫室氣體 63%。除了二氧化碳以外，目前人類活動排放的溫室氣體還有甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O；笑氣)、氟氯碳化物(HFCs)、全氟化碳(PFCs)、六氟化硫(SF₆)等。

表 1.1 人類活動排放的主要溫室氣體

溫室氣體 種類	增溫效果 所占比例，%	產生來源
二氧化碳(CO ₂)	63	燃燒石油、煤炭、天然氣
甲烷(CH ₄)	15	農業活動、垃圾掩埋
氧化亞氮(N ₂ O)	4	農業活動、垃圾掩埋
氟氯碳化物(HFCs)	11	舊型滅火器、舊型冰箱冷氣
全氟化碳(PFCs)		電力設備、半導體製程
六氟化硫(SF ₆)	7	電力設備、半導體製程

資料來源：出雲諭明(2005)；李育明(2007)。

所有的化石能源燃燒會排放二氧化碳，化石燃料(fossil fuels)是古代生物死亡後，其遺骸經泥沙掩埋沉積，長期受到細菌與地底下高溫高壓作用，逐漸形成的衍生物質，化石燃料包含煤炭、石油與天然氣（葉欣誠，2008）。

在化石能源中，煤含碳量最高，石油次之，天然氣較低；水稻田、牛羊等反芻動物消化過程會排放甲烷；農業活動及垃圾掩埋會產生甲烷及氧化亞氮；舊型的滅火器，冰箱、冷氣機的冷媒，含有氫氟碳化物及氯氟碳化物，不僅會破壞大氣層，造成大氣層破洞，還會造成暖化加劇；電力設備及半導體製程，則會排放全氟化碳、六氟化硫等溫室氣體。

全世界二氧化碳排放量約 293.2 億噸，如表 1.2 全世界的二氧化碳年排放量說明，世界最大的二氧化碳排放國是中國，排放量有 65.4 億噸，占世界排放量比例 22.30%，其次分別是美國、歐盟、印度、俄羅斯、日本、和德國。而台灣在 2007 年全球排放量排名，是第 24 名，占全球排放量 0.94 %。

在歷史上首次對國家賦予削減溫室氣體義務的，就是「京都議定書」，這是於 1997 年在日本京都所舉辦的第三次氣候變遷計畫締約國大會 (Conference of Parties III, COP3) 所選擇採用的「氣候變遷計畫條約」議定書，世界上有 172 個國家成為締約國 (葉欣誠，2010)。這份議定書的主要目標是：2012 年前，主要工業發達國家溫室氣體排放量，要在 1990 年的基礎上平均減少 5.2%。具體上，與 1990 年相比，歐盟削減 8%、美國 7%、日本 6%、加拿大 6%、東歐各國減 5-8%。紐西蘭、俄羅斯、烏克蘭可將排放量穩定在 1990 年水準，同時允許愛爾蘭、澳洲、挪威等國的排放量比 1990 年分別增加 10%、8%、1%。但身為溫室氣體排放大國的美國，以「會對經濟造成不良影響」為由，在 2000 年退出京都議定書簽約國。

表 1.2 2007 年全世界的二氧化碳年排放量

排放排名	國家	排放量，億噸	比例，%
1	中國	65.4	22.30
2	美國	58.4	19.91
--	歐盟	41.8	14.04
3	印度	16.1	5.50
4	俄羅斯	15.4	5.24
5	日本	12.5	4.28
6	德國	7.9	2.69
7	加拿大	5.6	1.90
8	英國	5.4	1.84
9	韓國	5.0	1.72
10	伊朗	4.9	1.69
24	台灣	2.8	0.94
合計		293.2	100.0

資料來源：維基百科 (2011)。

除了歐洲部分國家達到目標外，日本、加拿大、美國等國反而增加排放量。所以要在 2012 年達到京都議定書所設定，將溫室效應氣體的排放量

以 1990 年為基準，對先進國家賦予在 2012 年前要削減 5.2% 的目標，將難以達成（原剛，2009）。

另外，原先寄望 2009 年 12 月於丹麥哥本哈根召開的氣候會議，各國可以為 2012 年後的減碳有共同的決議，但是結果並未獲致具有約束力的結論（葉欣誠，2010）。哥本哈根氣候會議最後由參與國家以「注意到」（take notes of）的名義為主要結論：

- (i) 長期目標：地球增溫小於 2°C；
- (ii) 資助窮國：已開發國家每年提供 1000 億美元資助開發中國家，直至 2020 年。日本、歐盟、美國將於 2010 至 2012 年三年間，總共提供 110 億美元、106 億美元、及 36 億美元；
- (iii) 監督減排：要求監督開發中經濟體每二年向聯合國報告，並在尊重主權前提下接受查核；
- (iv) 保護森林：提供開發中國家正面獎勵；
- (v) 碳權交易：利用碳權市場提高減碳的成本有效性。

1.1.3 全球能源資源開發已近極限

表 1.3 是全球能源資源總蘊藏量及可使用年數。以 2007 年的產量當基準，石油、天然氣、煤炭總蘊藏量分別可以再使用 41.6 年、60.3 年及 133 年，所以化石能源不僅造成溫室效應，在幾十年內，人類還會遭遇能源不足的問題，亟待解決及找出替代能源。

核能是近幾年思考能源問題時，一個很重要的替代能源，因為核能產生的二氧化碳極低，並且儲存量可使用年限達 138 年，但是核能有個更大的風險及問題，在於核能安全。

1979 年美國「三哩島」以及 1986 年前蘇聯「車諾比爾」核電廠核漏事件殷鑒不遠，2011 年 3 月 11 日日本因為芮氏 9.0 級地震以及海嘯引起的核漏

事件，至今尚未平息，除了周圍幾十公里居民撤離避難、核燃料洩漏隨風飄移到世界各地引起核危害、海洋生物食物鏈危害等，顯見核能有很大的風險。想解決化石能源問題而使用核能，結果將千秋萬世的人類存活的地球，賭在核能安全上，將有萬劫不復之虞，值得各國政府深思。

捨棄化石燃料及核能，發展太陽能、風能、生質能、氫能（ Yang et al., 2011）等，才是能源使用的正確方向。

表 1.3 全球能源資源總蘊藏量及可使用年數

能源別	總蘊藏量 (2007 年底)	產量 (2007 年)	可使用 年數
石油	12379 億桶	297.5 億桶	41.6 年
天然氣	177 兆立方公尺	2.9 兆立方公尺	60.3 年
煤炭	8474 億公噸	63.9 億公噸	133 年
鈾	550 萬公噸	3.96 萬公噸	138 年

資料來源:吳再益(2009)

1.1.4 台灣對二氧化碳濃度攀升及地球暖化等危機所應負的責任

1.1.4.1 台灣二氧化碳排放量，占世界 0.94%

台灣特殊的國際及政治情勢，所以並沒有參與京都議定書的簽署，但是並不表示台灣排放的溫室氣體不多，也不是台灣不須對全球暖化負責，我們應該更積極的投入節能減碳，盡世界公民的責任。

在能源使用方面，台灣有高達 98% 以上的能源仰賴進口，並且在過去 20 年來，台灣的能源消費成長 3 倍，比全球的平均速度快上 2.2 倍（李育明，2007）。

在溫室氣體排放方面，台灣在 2007 年全球排放量排名，是第 24 名，

佔全球排放量 0.94%。我國政府於 2008 年 6 月宣布了減碳目標與時程：「於 2016 年至 2020 年間回到 2008 年排放量；於 2025 年回到 2000 年排放量；於 2050 年回到 2000 年排放量的 50%」(葉欣誠, 2010)。經濟部能源局訂出的主要政策目標包含：

- 一、 未來八年每年提高能源效率 2%，2015 年的能源密集度較 2005 年下降 20%以上，並藉由技術突破與配套措施，於 2025 年下降 50%以上。
- 二、 發電系統中低碳能源所占比例至 2025 年增加至 55%以上。
- 三、 再生能源於 2025 年占電力系統總裝置容量 15%以上。

2010 年 3 月，行政院召開節能減碳推動會議，確定將 2020 年的排放量降回 2005 年水準；而中長期以 2025 年回歸 2000 年排放目標。

根據環保署推估，考慮我國的經濟成長率、產業結構與能源密集度等因素，十年之後(2020 年)台灣的溫室氣體排放總量估計為 4.67 億公噸，若要回歸到 2005 年的 2.57 億公噸，在未來十年要努力減少 2.1 億公噸，也就是 45% (葉欣誠, 2010)，這是一個超高的標準。

經濟部則提出十大因應策略，包含：一、健全法規體制；二、改造低碳能源系統；三、打造低碳社區與社會；四、營造低碳產業結構；五、建構綠色運輸網絡；六、營建綠色新景觀與普及綠建築；七、擴張節能減碳科技能量；八、推動節能減碳公共工程；九、深化節能減碳教育；十、強化節能減碳宣導與溝通。

1.1.4.2 台灣的責任與挑戰

我國天然資源匱乏，能源進口依存度高，2008 年台灣能源總供給為 14,247 萬公秉油當量，表 1.4 中說明，石油占 49.5%，煤炭占 32.4%，天然氣占 9.4%，核能發電占 8.3%，再生能源占 0.4%，能源供給高度依賴煤炭、

石油等化石燃料(吳再益，2009)。

表 1.4 中，化石能源（石油、煤炭、天然氣）占我國能源結構 91.4%，而國內幾乎沒有礦源，只有少量的煤礦和天然氣，但是開採價值不高，所以台灣幾乎所有的經濟動力、能量來源，都來自進口化石能源。台灣無法掌控能源來源，幾乎仰賴進口，並且排放大量的二氧化碳；另一個重要的能源是核能，佔我國能源供應總量 8.3%，台灣目前有三座核電廠，分別為北部的核一及核二廠，以及南部的核三廠，另外，北部另有興建中的核四廠。在「三哩島事件」與「車諾比爾」漸漸為人們淡忘，大家開始談論以核能替代化石能源之時，2011 年 3 月日本福島核電廠爆炸事件，提醒世人核能的不確定性以及不安全性，人類該認真思考未來的能源及環保方向，給後世子孫一個安全穩固的生存空間。

表 1.4 中再生能源佔國內能源總供給 0.4%，包含太陽能、生質能、風力、地熱能、非抽蓄勢水力、海洋能等能源。可再生能源是目前全球的趨勢，用以替代化石能源，我國目前僅占能源供給 0.4%，「非再

表 1.4 2008 年我國能源總供給結構

能源別	油當量，萬公秉	比例(%)
石油	7055	49.5
煤炭	4615	32.4
天然氣	1338	9.4
核能	1182	8.3
再生能源	57	0.4
合計	14,247	100.0
說明： 1.化石能源：石油、煤炭、天然氣稱為化石能源 2.再生能源：包含太陽能、生質能、風力、地熱能、非抽蓄勢水力、海洋能等能源		

資料來源：吳再益(2009)

生能源」占 99.6%，有很大的成長及努力空間。

依據「能源政策白皮書」的預估，台灣在 2025 年時的能源需求總量將成長為 2001 年需求量的 1.6 倍，2001 年至 2025 年的年平均成長率為 1.96%。若區分能源別，各類能源需求平均成長率依序是：新能源 7.23%、電力 2.82%、煤 1.92%、天然氣 1.92%、石油 0.15%，新能源成長率最高，顯見台灣政府對於推動新能源的企圖，以及抑制煤、天然氣、石油等能源成長的決心（李育明，2007）。

1.1.4.3 台灣再生能源的出路

我國政府為發展再生能源，於增進能源多元化，2009 年 7 月頒布「再生能源發展條例」，發展太陽能、生質能、地熱能、地熱能、海洋能、風力、

非抽蓄勢水力等能源。

依據「再生能源發展條例」，民間公司團體可以設置再生能源發電設備，政府將收購電力。表 1.5A 及表 1.5B 是 2011 年台灣再生能源發電設備電能躉購費率，政府收購之再生能源電力包含風力、川流式水力、地熱能、生質能、廢棄物再生能源、太陽光電、及其他再生能源。在收購電力中，太陽光電是收購價最高的，在每度電 7.3297-10.3185 元；其次是小型風力發電，為每度電 7.3562 元，離岸風力為每度電 5.5626 元；地熱能為每度電 4.8039 元；其餘的中大型風力發電、川流式水力、生質能發電、廢棄物發電則在每度電 2.6875-2.1821 元間。政府有一套公式來計價，希望透過客觀，有佐證的資料，來訂定適當價格，讓業者有合理的利潤，對民眾未來如果要負擔電費，也不會負擔太重。由收購價格可以看出，收購價格較低的中大型風力發電、川流式水力、生質能發電、廢棄物發電，反而是相對成本較低的綠色能源，也是較經濟的能源。

表 1.5A 2011 年台灣再生能源（太陽光電除外）發電設備電能躉購費率

再生能源類別	分類	裝置容量級距	躉購費率（元/度）
風力	陸域	1 瓩以上不及 10 瓩	7.3562
		10 瓩以上*	2.6138
	離岸	無區分	5.5626
川流式水力	無區分	無區分	2.1821
地熱能	無區分	無區分	4.8039
生質能	無區分	無區分	2.1821
廢棄物	無區分	無區分	2.6875
其他	無區分	無區分	2.1821

* 依「台灣電力股份有限公司再生能源發電系統併聯技術要點」第 7 條第 4 項規定加裝 LVRT（低電壓持續運轉能力設備）者，躉購費率為 2.6574 元/度。

表 1.5B 2011 年台灣太陽光電發電設備電能躉購費率

再生能源類別	分類	裝置容量級距	上限費率（元/度）
太陽光電	屋頂型	1 瓩以上不及 10 瓩	10.3185
		10 瓩以上不及 100 瓩	9.1799
		100 瓩以上不及 500 瓩	8.8241
		500 瓩以上	7.9701
	地面型	1 瓩以上	7.3297

表 1.6 各種再生能源技術的成本，探討各種再生能源開發的經濟效益。以 2001 年計算發電成本，風能、水力、地熱、生物質能是與化石能源-煤相比，能源成本相對較低或相當的再生能源；太陽能則是成本相對高的再生能源。未來可達到的能源成本，則以太陽能下降幅度最大，太陽能電池由

25~160 降為 5~25 美分/千瓦小時；太陽熱能由 12~34 降為 4~20 美分/千瓦小時，但其成本，相較於風能、水力、地熱、生物質能，仍屬較高。

表 1.6 各種再生能源技術的成本

能量類型	2001 年能源成本 美分/千瓦小時	未來可能達到的能源成本 美分/千瓦小時
發電		
風	4~8	3~10
太陽能電池	25~160	5~25
太陽熱能	12~34	4~20
大型水力	2~10	2~10
小型水力	2~12	2~10
地熱	2~10	1~8
生物質能	3~12	4~10
煤(相較)	4	未定
產生熱		
地熱加熱	0.5~5	0.5~5
生物質量加熱	1~6	1~5
低溫太陽加熱	2~25	2~10

資料來源:華健、吳怡萱 (2008)

1.1.4.4 台灣發展生質能源的進度

生質能源是台灣發展再生能源的重要項目，生質能是利用生物質量 (biomass)，經轉換所獲得的電與熱用於能源。生質物種類有很多種，日常生活中常見，例如：廢食用油、稻桿、稻殼、木屑、玉米桿、甘蔗渣、動

物內臟、沼氣、動植物油、廢紙等。醣類及纖維質等物質，可以提煉生質酒精；油類物質，例如大豆油、花生油、廢食用油、等可提煉生質柴油，目前以生質酒精及生質柴油得應用較多。例如巴西大量種植甘蔗提煉酒精，用以替代汽油，在巴西已廣泛推行。

表 1.7 台灣生質能源推動目標，台灣生質柴油的推動第一階段於 2006 年推廣「綠色公務車」，推廣量為 650 公秉；第二階段，於 2007 及 2008 年推廣「綠色城鄉」，除推廣種植 8,000 公頃生質柴油油源植物，於部分加油站試行添加 1% 生質柴油，就是所謂 B1 生質柴油；第三階段，2009 年則全面於柴油中添加 1% 生質柴油，全面施行 B1 生質柴油，全年總需求量為 45,000 公秉；第四階段將於 2011 年實施全面 B2 生質柴油，總需求量為 10 萬公秉。

表 1.7 台灣生質能源推動目標

台灣生質柴油推動目標				
項目/年度	2006	2007~2008	2009	2011
推廣量	650 公秉	6,500 公秉	45,000 公秉	100,000 公秉
推廣模式	環保車試行 綠色公務車	綠色城鄉	全面 B1 ^{註1}	全面 B2 ^{註1}
料源 供應方式	指定國內料源		開放自由市場	
料源 種植目標	2,000 公頃	8,000 公頃	20,000 公頃	80,000 公頃
台灣生質酒精推動目標				
項目/年度	2006	2007~2008	2009	2011
推廣量	---	770 公秉	12,000 公秉	100,000 公秉
推廣模式	---	綠色公務車	都會區 E3 ^{註2}	全面 E3 ^{註2}
料源 供應方式	國內料源優先， 不足由進口供應		開放自由市場	
料源 種植目標	試種 30 公頃	30 公頃	3,000 公頃	20,000 公頃

註1：B1指化石柴油中添加1%生質柴油；B2指化石柴油中添加2%生質柴油

註2：E3指化石汽油中添加3%生質汽油（生質酒精）

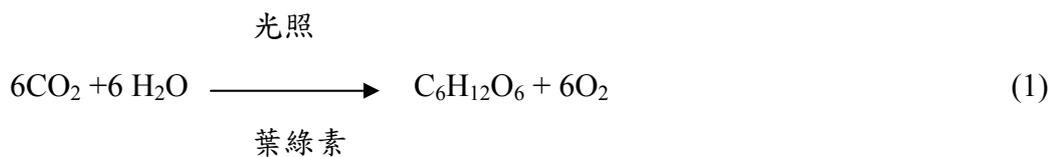
資料來源：投資台灣入口網網路資料(2008)，「生質能源產業發展資現況與趨勢」，「生質能產業分析及投資機會」

1.2 麻瘋樹的種植及其環境與能源效益

1.2.1 種樹吸收二氧化碳並減緩溫室效應

在過去 100 年間，大氣中二氧化碳的濃度由百萬分之 280 (280 ppm)

上升到百萬分之 353 (353 ppm)，亦即大氣中二氧化碳濃度增加了 26%，到 2050 年時二氧化碳濃度將達到百萬分之 550 (550 ppm)，比 100 年前的二氧化碳濃度增加了近 100%，大氣二氧化碳濃度上升一倍可能使全球增溫 3~4°C，造成極地凍冰層融化，並減少陸地面積（尉海東等，2007；Rodhe，1990）。減緩二氧化碳增加的速度和衝擊，可由二氧化碳減量（mitigation）和環境適應（adaptation）兩方面著手，環境適應就是發展因應對策，以降低全球暖化氣候變遷所導致的負面影響，而加強造林以及森林的適當經營即屬於環境適應方法之一（柳中明等，2001）。植物藉由本身生理特性進行光合作用，如方程式（1），具有葉綠素的植物，在光照的條件下，吸收二氧化碳及水分子，進行光合作用產生有機物及氧分子。



綠色植物在生長過程中，吸存空氣中的二氧化碳是個體生態特徵，同時也能夠提供調節大氣溫度、淨化空氣、平衡大自然環境的功能，集樹成林，其發揮的效果必相當龐大而重要。森林在減少大氣中二氧化碳的貢獻可分為兩方面。第一是長期的林木生長活動，經由光合作用吸存二氧化碳的能力會隨著增加。第二是林木環繞於建築物周圍，能調節微氣候，減少對暖氣或空調的需求，以及減少因電力生產消耗所排放的二氧化碳（李國忠，2005）。

1.2.2 種植麻瘋樹的環境及能源優勢

麻瘋樹(*Jatropha curcas* L.) 又名小桐子、膏桐、假油桐等，屬大戟科植物，多年生小喬木或灌木，分布於熱帶及亞熱帶地區，樹高 2~5 米。麻瘋樹原產

南美洲，後來引進東南亞各國、非洲、中國等地。一般種子含油率 35~45%，種仁含油率約 50~60%（蘭生葵等，2007；卓開發等，2006；歐國騰、周世敏，2007；賴文安，2009）。

麻瘋樹 1-3 年開始結果，盛產期約 20-30 年，總採收期有 50 年。結實間隔期不明顯，立地條件好的母樹，連年結果均較多。當大多數蒴果呈乾燥狀，少數已開裂時，可進行採收。乾燥果實每千粒重約 600-700 克，每千克純淨種子 1500 粒左右。

麻瘋樹籽宜在果實變黑裂開時採收，在日光下曝曬，將含水量降到 13% 以下，通過壓榨法生產麻瘋樹籽油。麻瘋樹籽油可以提煉生質柴油，替代目前習用的石化柴油（毛紹春等，2007），是很好的綠色能源。

化石能源短缺以及溫室氣體造成危機。而以大豆、甘蔗等作物為替代來源的生質能源，卻造成糧食以及動物飼料價格攀升，所以開發非作物的生質能源是目前主流議題。麻瘋樹具有易栽種、可種植面積廣、油量及含油率高、可在非耕地生長、產油期長、油品佳等優點。

1.3 我國的獎勵造林政策

為鼓勵造林，以獎勵金方式，鼓勵民眾參與造林。表 1.8 為我國近年獎勵造林政策，從 81-86 年的獎勵農地造林計畫，每公頃六年獎勵金 15 萬元；85-93 年實施的全民造林計畫，獎勵造林 20 年，每公頃領取 39-53 萬；91 年迄今的平地景觀造林計畫，共 20 年每公頃領取獎勵金 147-161 萬；97 年開始的綠海計畫，共 20 年每公頃領取獎勵金 180 萬，可見獎勵金有逐漸增加的趨勢。

表 1.9 為綠海計畫造林樹種及每公頃栽植株數表，獎勵造林樹種有 33 種，但是未包含麻瘋樹。

表 1.8 我國近年獎勵造林政策

計畫名稱	時間	主要內容	給付額度
獎勵農地造林計畫	81-86 年	對象：私有林地、公有山坡地租地造林、國公有林地租地造林、原住民保留地	共計 6 年，合計林農 6 年，每公頃共領取造林獎勵金 15 萬元
全民造林計畫	85-93 年	對象：國公有林租地租地造林、私有林地、原住民保留地、農牧用地、實驗林地、國有閒置土地	-私有造林獎勵 20 年，總計共領取每公頃 53 萬元 -公有林造林獎勵 20 年，總計共領取每公頃 39 萬元
平地景觀造林計畫	91 年迄今	對象：平地低產農地造林，並位於： -一般農業區農牧用地或「造林專區」 -重金屬污染農地或嚴重地層下陷區	-私有林造林獎勵 20 年，總共領取每公頃 161 萬元。 -國公有林造林獎勵 20 年，總共領取每公頃 147 萬元。
綠海計畫	97.3 迄今	1. 造林 2 萬公頃 2. 範圍： -一般農業區 -特定造林專區 -重金屬污染農地或地層下陷區	1. 第一年每公頃 18 萬。其中 8 萬直接給付，10 萬造林費用 2. 2-6 年每年每公頃 10 萬。其中 7 萬直接給付，3 萬造林費用 3. 7-20 年每年每公頃 8 萬。其中 6 萬直接給付，2 萬造林費用 4. 造林 20 年，共計每公頃領取 180 萬元。

資料來源：劉蓊（2008）；行政院農委會「綠海計畫造林直接給付及種苗配撥實施要點」

表 1.9 綠海計畫造林樹種及每公頃栽植株數表

造林類別	造林對象	樹種	每公頃栽植株數
海岸造林	沿海地區 之農牧用地	木麻黃	2,000
		小葉南洋杉	2,000
		水黃皮	2,000
		白千層	2,000
		黃槿	2,000
		大葉山欖	2,000
		台灣海桐	2,000
		欖李	2,000
木材利用 及景觀造林	一般地區 之農牧用地	臺灣肖楠	1,500
		臺灣檫	1,500
		欖仁	1,500
		羅漢松	1,500
		烏心石	1,500
		光蠟樹	1,500
		樟樹	1,500
		臺灣相思樹	1,500
		青剛櫟	1,500
		小葉南洋杉	1,500
		茄苳	1,500
		印度紫檀	1,500
		桃花心木	1,500
		苦楝	1,500
		杜英	1,500
		黃連木	1,500
		楓香	1,500
		鐵刀木	1,500
		無患子	1,500
		山櫻花	1,500
		阿勃勒	1,500
		小葉欖仁	1,500
		烏白	1,500
台灣欒樹	1,500		
肉桂類	1500		

資料來源：行政院農委會 97.3.26 日農林務字第 0971740333 號令「綠海計畫造林直接給付及種苗配撥實施要點」

1.4 研究目的

台灣以往少有麻瘋樹種植，近幾年因為生質能源備受重視，故部分

學術單位有少量種植，但缺乏系統性的種植及研究。

台灣地處亞熱帶，許多山地部落或者偏僻貧瘠地區，土地多荒廢無利用。如果種植對水需求不多、可於貧瘠荒地開發種植、不需人力多照顧、易收成的麻瘋樹，同時達到原鄉同胞回鄉種植、種樹減緩溫室效應及地球暖化、提煉生質柴油綠能，替代化石能源、提高台灣能源自主率等優點。

所有方法都需要有政府政策配合，例如鼓勵種植、保證收購麻瘋樹種子價格及數量等，才能真正落實。

本論文從 2008 年 4 月開始種子育苗、移植、撫育、摘果、種子榨油，至 2011 年，研究項目：

- (i) 觀察麻瘋樹於台灣的生長、發育、結果等狀況；
- (ii) 計算發芽率，麻瘋樹生長狀況、所結種子品質、數量；
- (iii) 試驗種子含油率；估算麻瘋樹種植及提煉生質柴油成本；
- (iv) 台灣推廣麻瘋樹產業的 SWOT 分析；以及策略規畫。

本研究的目的為：

- (1) 探討台灣種植麻瘋樹的可行性：於台灣苗栗種植麻瘋樹，評估麻瘋樹於台灣生長、開花、結果、收成等狀況。
- (2) 台灣建立麻瘋樹產業的成本分析；評估麻瘋樹於台灣種植、種子收成、榨油、提煉生質柴油等各項之成本分析。
- (3) 分析麻瘋樹產業的效益及發展策略，作為廠商評估開發的參考。

本研究的研究流程：

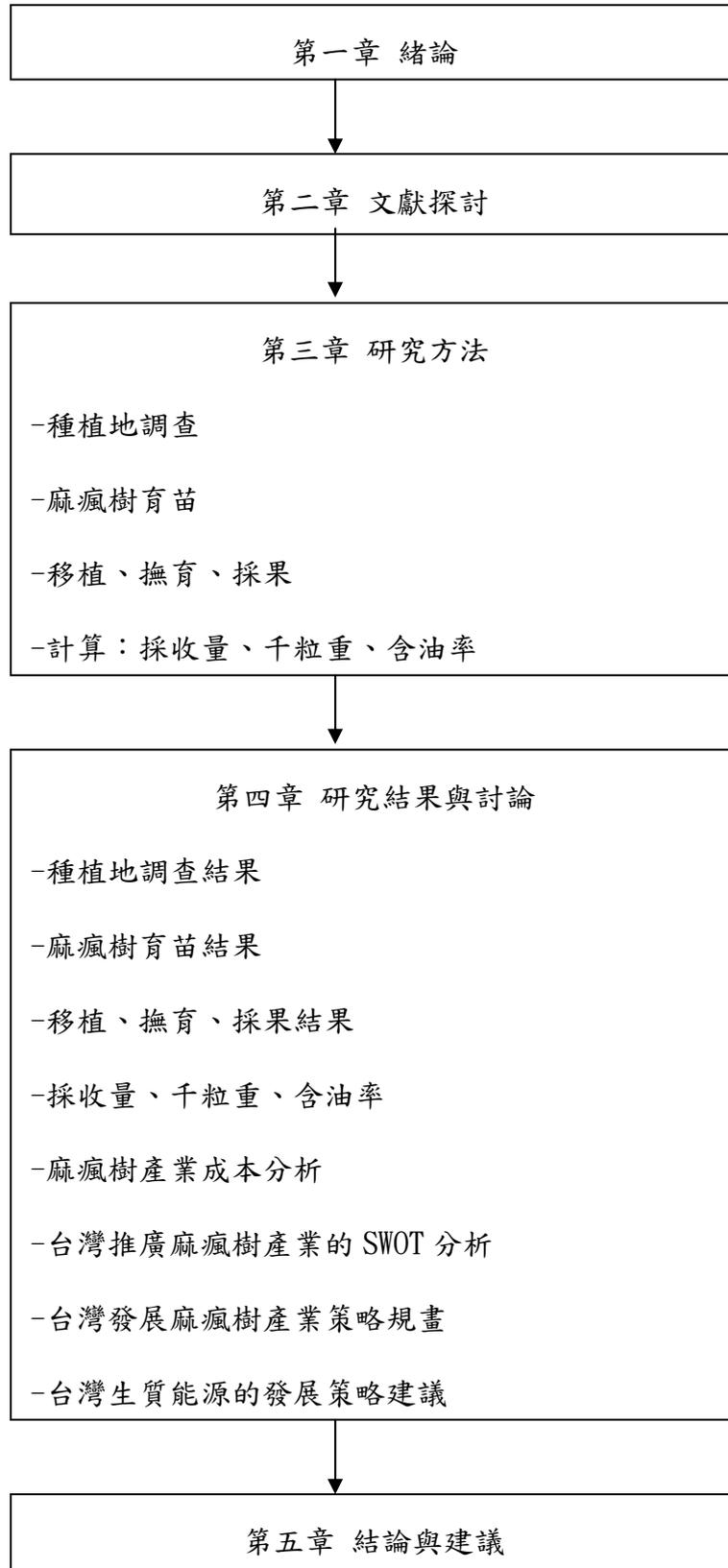


圖 1.1 研究流程

第二章 文獻探討

麻瘋樹易種植、種子含油量高、油品佳、可替代化石柴油，並且種樹可以吸收二氧化碳，是值得研究探討的替代能源。本章介紹麻瘋樹的特性、利用價值，及目前國內生質柴油的推動情況。

2.1 麻瘋樹的生物學和生態學特性

2.1.1 麻瘋樹分類

麻瘋樹(*Jatropha curcas* L.)為大戟科(*Euphorbiaceae*) 麻瘋樹屬(*Jatropha* L.) 植物，各地區有不同俗稱：膏桐、小桐子、小油桐、桐油樹等。世界上麻瘋樹屬植物有 200 多種，主要集中在美洲熱帶、亞熱帶地區。非洲和亞洲有零星分布。

2.1.2 麻瘋樹生物學特性

麻瘋樹屬於大戟科植物，主要分布在熱帶及亞熱帶地區，具有典型大戟科植物的特徵，壽命可達 50 年以上。一般高 2 至 5 米，但在氣候和土壤水質條件適合的情況下，如河岸、田邊等處，可看到高達 8 至 10 公尺高的麻瘋樹植株。麻瘋樹屬於合軸分枝型植物，株冠張開，易分枝，分枝數和品種、營養條件、氣候、土壤、種植密度等條件有關（陳放等，2007；張永利等，2008）。

麻瘋樹的花序在植物學上稱為『二歧聚傘花序』，常見形成於枝條的末(頂)端，由若干黃綠白色的小花組成。花單性，一般雌雄異花同株，但偶有同性花或單性植株出現。雌花和雄花著生在同一個花序上，雌花位於二歧分岔處，雄花則圍生於周圍。每個花序一般可形成 5 至 10 朵雌花和 25 朵以上的雄花。雌花數和雌雄花比例，受到品系及環境的影響，一般雌花

少，雄花多，雌花約占 5-10%。此種雌雄花不協調的現象直接影響種子數量，成為麻瘋樹種子產量多寡的重要因素之一（郭承剛等，2007；何亞平等，2008）。

麻瘋樹的果實為圓球狀或卵形的蒴果，成熟時期由青色果轉為黃色果，繼續掛在枝上，再轉為褐色果，變乾微裂，一般歷時約 3 個月期間。每個果實通常有種子 3 粒。

麻瘋樹的種子呈長橢圓型，黑色，長 1.8-2.0 公分，寬和高在 1.0-1.1 公分左右。一般每一千克種子有 1500-2000 顆；亦即每千粒種子重約 500-670 克，種子的一端還具有較小的種阜。種子的殼為黑色，表面粗糙，堅硬而脆，占種子重量 30% 左右，其成分主要是纖維質。麻瘋樹種子含油量高，一般在 30% 左右，根據來源品種及生長環境不同，種子含油量在 15-40% 間。種子去掉殼為種仁，種仁為白色，富含油脂，油脂含量可達 50-70%。

2.1.3 麻瘋樹的生長特性

麻瘋樹壽命可達 50 年。在自然環境下，可用於油料生產的經濟時間一般在 20-30 年間。

2.1.3.1 種子萌發

麻瘋樹的種子萌發力強，在水分及溫度適合的情況下，3-5 天之後就可以萌發長出幼苗，10 天後完成整個萌發過程。25-30°C 是萌發的最佳溫度（鄒志軍等，2008），溫度過高或過低，萌發率都會下降。萌發時，首先種殼裂開，麻瘋樹籽的胚根由種殼種阜端伸出，然後下胚軸迅速伸開，子葉出土並迅速伸展變綠。子葉長 4-6 公分左右。麻瘋樹種子屬正常型種子，即低溫乾燥有利於延長其生命力。儲存不當會導致萌發率下降。

2.1.3.2 營養及生長

麻瘋樹苗生長迅速，如果水、肥、熱、光..等條件適合，通常3年可以成林。在長年濕潤的熱帶地區，麻瘋樹可以中年長綠。降水和溫熱的變化可以誘導麻瘋樹的休眠。一般是當旱季來臨，溫度下降，降水開始減少時，麻瘋樹開始落葉（陳放等，2007；張永利等，2008）。

2.1.3.3 開花結果習性

根據栽培方式和環境條件，麻瘋樹從栽培開始到進入開花階段所需的時間有所不同。

在中國乾熱河谷區，麻瘋樹一般3-4月份抽梢展葉，12月至次年一月份落葉，麻瘋樹在溫度較高的地區一般年開花結果兩次，第一次花期在4-5月，8-9月果熟；第二次花期在7-8月份，12月至次年一月果熟，產量以第一次為主，約占全年四分之三。楊清等（2008）於中國雲南省南部的麻瘋樹種植試驗中，單花的花期2-3天，一個花序花期10-25天，一個群落的花期可長達半年。

麻瘋樹花序行程要經過15-20天的生長階段，開花時間可維持十餘天，每朵花開花時間可達3天。麻瘋樹屬於蟲媒授粉，常見的授粉昆蟲有蜜蜂、螞蟻、蒼蠅等，自然受粉的結果率約50%。

麻瘋樹一般3-4年生開始開花結果，但是在水份條件好，熱量充足的地區，1-2年生就會開始開花結果。邊開花邊結果，開花時間不一致，果實成熟不一致，出現“花與果同生；成熟果與幼果同存”的現象。

2.1.4 麻瘋樹的生長環境

麻瘋樹喜光熱，耐乾旱貧瘠，在水、肥適宜的地方生長良好，各地區存在氣候差異對麻瘋樹生長產生影響。圖2.1兩條淺色帶線內區域稱為『棕櫚樹生長帶』，指棕櫚帶在赤道北緯4度和南緯8度間，是適合棕櫚樹生長的區域，主要包含亞洲的馬來西亞、印尼；非洲中部；南美洲的巴西、哥

倫比亞、委內瑞拉、圭亞那...等這些國家的部分地區。深色線內的區域稱為『麻瘋樹生長帶』，指出麻瘋樹在赤道北緯 30 及南緯 35 度區域內，都是適合種植的區域，包含了大多數熱帶及亞熱帶的國家，亞洲從中國南部省份、台灣、中南半島、菲律賓、星馬泰、印度；澳洲、紐西蘭；非洲布大部分區域；美洲從墨西哥到南美洲的巴西、智利、阿根廷（Jongschaap et al,2007）。麻瘋樹適合種植區域，比棕櫚樹大很多。

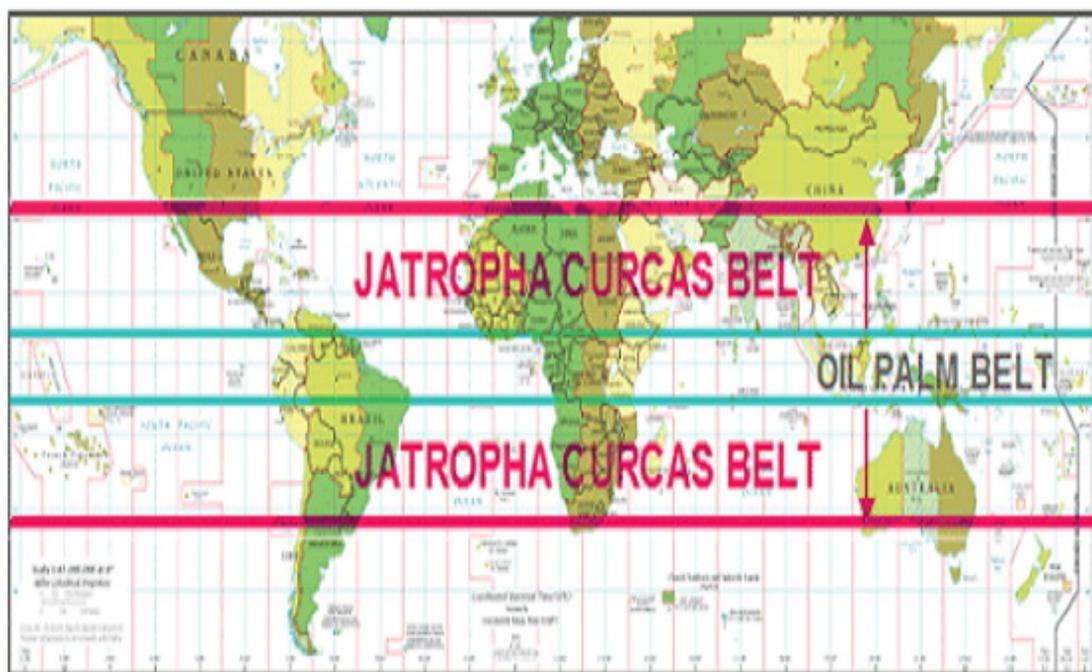


圖 2.1 麻瘋樹生長帶

2.1.4.1 溫度

溫度是影響麻瘋樹分布的主要因素。麻瘋樹喜炎熱的環境，對低溫反應較敏感，麻瘋樹的正常生長發育需要充足的熱量，其分布區域的平均溫度一般在 17-28°C，極端最低溫要高於 0°C。低溫、霜凍會直接影響麻瘋樹的存活，幼苗對溫度變化最為敏感，成株對低溫有一定耐受力。羅通等（2005）的研究指出，麻瘋樹對 12°C 以上的低溫有較大的耐受力，更低溫度，例如 4 或 8°C，麻瘋樹不能正長生長及結果。低溫對麻瘋樹種子的萌發也有影響，如低於 20°C，種子不能正常萌發。

2.1.4.2 水分

麻瘋樹耐旱怕澇，麻瘋樹分佈區域一般在年降雨量 300-1000 毫米或更多，如果降雨量較少，相對溼度足夠高，麻瘋樹的生長也能很好（陳放等，2007；張永利等，2008）。儘管麻瘋樹耐旱，但是水份多寡對麻瘋樹生長速度、雌雄花比例等，有很大的影響。

2.1.4.3 光照

麻瘋樹對光敏感，屬於喜光植物，日照會促進生殖、生長發育。一般來說，在日照不足地區種植麻瘋樹，大部分植株的樹勢衰弱，單株結果量少。光照充足時，麻瘋樹生長旺盛、結果多、種子含油率高（唐敏，2007）。

2.1.4.4 土壤

麻瘋樹對土壤質地要求不高，耐旱、耐瘠、適應性強，可以在多種類型的土地生長，非常貧瘠的土地如石礫地，麻瘋樹也能生長，但是不適合在重黏土、泥濘地、沼澤地種植生長。土壤中的硫、鎂、鉀元素對麻瘋樹的生長有促進作用。

2.1.4.5 地勢

地勢不同，往往會影響到植物生長環境的水分、光照、和溫度條件。麻瘋樹可以在平原、丘陵、陡峭山坡生長，但前提是要滿足溫度、日照、水分、土壤的要求，即熱量與日照充足，通風和排水良好。種植地坡度以小於 25 度最好，最大不要超過 35 度（婁彥萍，2009）。除高海拔不適合麻瘋樹生長，地勢低窪的地方，如塘質地，排水不順暢，長時間積水，麻瘋樹易爛根，也不宜栽種。

2.2 麻瘋樹的開發利用價值

麻瘋樹引進台灣的時間大約在西元 1930-1940 年太平洋戰爭期間，當時以補足國內石油產品，例如潤滑油為目的（李筱萍，2011）。麻瘋樹是多用途的樹種，包含種子、樹皮、枝葉等，都有極大用途，如圖 2.2 麻瘋樹各部分的應用說明（李筱萍，2011）。麻瘋樹有許多利用價值，下面說明幾個較受注目的應用。

麻瘋樹各部位的應用



圖 2.2 麻瘋樹各部分的應用

2.2.1 生質柴油原料

麻瘋樹種子是含油量高的木本油料植物，麻瘋樹的種仁最高含油率 70%，種子的含油率一般在 30-40% 間。麻瘋樹籽油和三個分子甲醇轉酯化反

應，產生三個柴油分子以及一個分子甘油。

石化能源短缺以及溫室氣體造成危機。而以大豆、甘蔗等作物為替代來源的生質能源，卻造成糧食以及動物飼料價格攀升，所以開發非作物的生質能源是目前主流議題。麻瘋樹以易栽種、可種植面積廣、油量及含油率高、可在非耕地生長、產油期長、油品佳、殘渣及莖葉可提煉農藥及原料藥等優點。

生質燃料屬於生質能源，它是太陽能以化學能型式儲存在生物中的一種能量型式，它直接或間接地來源於植物的光合作用。生物質能主要指薪材、農林作物、農作物廢料、動物糞便和生活垃圾。生質燃料蘊藏量極大，僅地球上的植物每年可生產的生物燃料量，就相當於人類每年消耗量的礦物能的 20 倍。

生質柴油主要是以大豆、油菜籽等油料作物、油棕、麻瘋樹籽油等油料林木果實、工程微藻等油料水生植物以及動物油脂、餐飲廢油等為原料製程的液體燃料，它是化石柴油代用品，是典型的『綠色能源』。

柴油主要的成分是 15 個左右的碳鏈組成的。研究發現，植物油分子一般為 14-18 個碳鏈組成，與柴油分子碳數相近。按化學成分分析，生質柴油燃料是一種脂肪酸甲酯，它是通過以不飽和油酸 C18 為主要成分的甘油酯分解而獲得。

與石化柴油相比，生質柴油具有下列優點：

- A. 具有優良的環保特性。生質柴油中不含對環境會造成污染的芳香族烷烴，因而產生的廢棄對人體損害低於石化柴油。如表 2.1 顯示，緩解溫室效應的二氧化碳排放減量，與石化柴油比，減少近八成。在 CO 等五大污染源方面，除了 NO_x 升高 14% 外，CO、HC、PT、SO₂ 都降低，其中 CO、HC、PT 約下降 1/3，SO₂ 下降 9%（印崧，2008）。而 NO_x 可利用排氣管加裝觸媒轉化器降低。

表 2.1 生物柴油與石化柴油的排放特性比較 單位：g/KW.h

特性	CO ₂ 二氧化碳	CO 一氧化碳	HC 碳氫化物	NO _x 氮氧化物	PT 懸浮粒子	SO ₂ 二氧化硫
石化柴油	472	0.94	0.18	3.73	0.15	0.69
生物柴油	101	0.62	0.11	4.27	0.10	0.63

資料來源：印崧等(2008)

- B. 具有可再生性能。作為可再生能源，與石油儲量不同，可供不應不致枯竭。
- C. 由於閃點高，生物柴油不屬於危險品，具有較好的安全性能。
- D. 具有良好的燃料性能。十六烷值高，使其燃料性質較石化柴油好，燃燒殘留物呈微酸性，使催化劑和發動機機油的使用壽命長。
- E. 無須更改柴油機，可直接添加使用。
- F. 生物柴油可以任何比例與石化柴油調和使用。
- G. 具有較好的低溫發動機啟動性能。

而且由於生質柴油燃燒時排放的二氧化碳遠低於該植物生長過程中所吸收的二氧化碳，因此改善由於二氧化碳排放而導致的全球暖化環境問題。因而，生質柴油是一種真正的綠色柴油。

近年來許多學者（Weiliang Cao et al., 2005、張世敏等，2007、楊廷芝等，2005）大力開發生質柴油技術並推廣其產業化進程，將促使生質柴油產業在各國快速實現。

2.2.2 化工原料

麻瘋樹可以生產多種產品。麻瘋樹籽油開發生質柴油時，副產物甘油

是重要的工業原料（張正中等，2007），可作為許多化妝品、食品、藥品的原料，並且可以生產附加價值更高的產品，例如 1,3-丁二醇。麻瘋樹的樹皮可以製造單寧酸以及染料（曹華，2007），果殼和種子殼可加工生產活性碳（趙瑞方等，2007）；麻瘋樹種子油是生產肥皂的優質原料；並且麻瘋樹籽油還可以開發作為界面活性劑、溶劑、潤滑油。

2.2.3 藥用價值

麻瘋樹的根、莖、葉、果實、和乳汁具有毒性，也都有一定的藥用、殺蟲、殺螺...等價值。麻瘋樹葉子的甲醇萃取物對福壽螺有浸殺效果（王兆玉等，2009）；魏琴研究指出，麻瘋樹油對水稻稻瘟病菌有抑制作用（魏琴，2009）；麻瘋樹籽榨渣的乙醇萃取物有殺真菌的效果（Saetae Donlaporn and Worapot Suntornsuk，2010）。

Muanza et al.(1995)研究發現，麻瘋樹葉的萃取物能保護及增強人體淋巴母細胞，這種細胞有抵抗人體免疫缺陷病毒（愛滋病）的作用；從麻瘋樹萃取出毒蛋白 curcin，對於人肝癌實驗鼠有抗腫瘤作用（蒲朝煜、苟平，2006）

2.2.4 生態作用

麻瘋樹耐旱性強，對土壤肥力及濕度要求不高，環境適應力強，可以種植在其他植物不易生長的土地上，大面積種植可以使貧瘠的土地變得肥沃，是乾旱地區理想的造林樹種（王秀娟等，2008）。麻瘋樹林枯枝落葉量大，有利於土壤腐植質的累積，可促進土壤中生物活動，改善土壤結構，提高土地利用效率（鄒紹林，2005）。

麻瘋樹可以改善土地砂石化、水土流失、土地板結狀況，被譽為「生態經濟型樹種」（胡強等，2006）。並且種植麻瘋樹可以加強水土保持，防

止土地沙漠化、增殖有機質以及有防護林的作用，降低自然災害（何文淑等，2002；鄒紹林，2005）。

2.3 台灣生質柴油的推動

2.3.1 種植能源作物的效益

種植能源作物發展生質能源，至少具有農業面、能源面、經濟面和環境生態面等效益（涂雅佩，2007）：

- A. 農業面：運用休耕或粗放的農業政策，發展生質能源。
- B. 能源面：全球化石燃料儲量有限，種植能源作物發展生質能源可以增加能源供給，提高國家能源自主性及安全。
- C. 經濟面：能源作物可以帶動農村、山坡地、荒地等土地利用，增加農民收益及提高就業機會。生質能源相關產業的發展，可使農業創造更高附加價值。
- D. 環境生態面：種植能源作物生產生質能源，為一碳循環系統，對生態環境有正面作用。同時能源作物種植，利於土地的恢復及水土保持，阻止土壤流失並建立新土壤層。發展能源作物，具有農村生活效益與農村生態效益，且生質能源可以降低空氣污染及減緩溫室效應。

2.3.2 台灣油脂作物及生質柴油開發與使用

台灣主要油脂作物有大豆、落花生、油菜及向日葵，歷年來種植面積最大的是大豆有 6 萬公頃，落花生有 10 萬公頃，油菜為 2 萬公頃，向日葵為 327 公頃。目前只剩落花生有經濟栽種，年種植面積約 2-3 萬公頃（楊金興，2007）。

在 2006 年，我國有 2000 公頃休耕土地種植大豆及向日葵油，用來生產 100 公秉的生質柴油，並從回收的廢食用油生產 1700 公秉的生質柴油。

在 2007 年，生質柴油的產量估計是 6500 公秉，其中 400 公秉來自國內 4000 公頃的休耕土地所種植的大豆和向日葵油籽，其餘的來自回收的廢食用油。市售石化柴油中，添加 1% 生質柴油，稱為 B1 生質柴油；添加 2% 生質柴油，稱為 B2 生質柴油；100% 的生質柴油稱為 B100。

2008 年，實施 B1，B100 生質柴油總需求量估計為 4.5 萬公秉，至 2010 年實施 B2，B100 生質柴油年需量是 9-10 萬公秉（楊明德，2010）。

在生質柴油生產上，我國生質柴油生產廠商有許多家，包含台灣新日化股份有限公司、承德油脂股份有限公司、積勝股份有限公司等約 10 家公司，所以生產技術沒有問題。表 2.2 是 2010 年 3 月至 2011 年 2 月，台灣中油公司 B100 生質柴油採購價格，2010 年價格在每公升 26.8-27.4 元間，2011 年價格上升到 34.0-34.4 元。

表 2.2 台灣中油公司 B100 生質柴油採購價格^{註2}

開標日期	2010.3.19	2010.5.18	2010.6.25	2010.9.24	2011.1.6	2011.2.14
數量	6,000 公秉(6,000,000 公升)					
決標金額, 新台幣元	1.644 億	1.632 億	1.608 億	1.608 億	2.040 億	2.088 億
單價, 元/公升	27.4	27.2	26.8	26.8	34.0	34.8

註:1.台灣中油招標採購價格，參考政府電子採購網<http://web.pcc.gov.tw>，決標公告

2. B100 生質柴油，表示 100% 生質柴油

第三章 研究方法

本章說明研究方法，包含麻瘋樹試種地的氣候、土質、水質，麻瘋樹試種，及採摘麻瘋樹種子的數量及品質。

3.1 麻瘋樹試種地調查

3.1.1 氣候概況

試種區屬於苗栗縣，整理 1990-2008 年苗栗地區的平均溫度、降雨量、溼度、總日射量等資料，作為種植的參考。

3.1.2 土質及水質狀況

試種地的土質，分析酸鹼度、質地、導電度、有機質、有機性磷、交換性鉀、鈣、鎂等，可判斷土壤肥力高低。水質分析酸鹼度、導電度以及銅、鋅、鎘、鎳、鉻、鉛等金屬含量。本檢驗委託農委會苗栗農改場分析。

3.2 麻瘋樹試種

3.2.1 育苗

3.2.1.1 種子準備：

種子為泰國種，每一千顆種子重 650 克。挑選外觀完整種子，洗淨後，以流動自來水浸泡 24 小時，瀝乾後備用。

3.2.1.2 播種：

育苗地先整地鬆土，種子採用點播，株行距 20 公分 X 20 公分，每穴一粒種子，種後覆土約 0.5-1.0 公分，每週澆水三次。本試驗於 2008 年 4 月 3

日播種 500 顆，2008 年 4 月 8 日播種 500 顆，共播種 1000 顆，播種 14 天後統計發芽率。

$$\text{發芽率 (\%)} = n/N \times 100\% \quad (2)$$

n=第 14 天，已萌發的種子數；N=試驗種子總數（楊琳等 2007）。

3.2.2 移植及管理

3.2.2.1 整地

以挖土機整地及清理雜草，以人工挖穴，挖穴規格穴面、底、深為 60cm X 40cm X 40cm，每穴底部用約 500 克有機肥（購自苗栗縣四方牧場）作基肥，基肥上覆薄土，日光照射 1-2 天殺菌後，準備幼苗移植。植株株距 2 米，行距 2.5 米，每公頃土地可種植 2000 株麻瘋樹。

3.2.2.2 移植

2008 年 7 月 10 至 15 日共移植 500 株幼苗。挑選育苗區苗高達 25 公分以上之健壯幼苗，將幼苗帶土整株起苗，迅速移植覆土並澆水。

3.2.2.3 管理

每週澆水 1-2 次。當幼樹高 50-80 公分時摘頂心控制高度，讓其向多方向萌發側枝，矮化樹型。

3.2.2.4 採果

蒴果幼時綠色，逐漸變黃，成熟時為棕色，成熟的蒴果微裂，一般內有三顆棕黑色種子，少部分只有兩顆種子。種子是陸續成熟的，並且掛在樹枝上，不會掉落，結果期每週採果 1-2 次。採收的蒴果鋪於室內陰乾、去

除果殼、收集種子。

3.3 採摘麻瘋樹種子的數量及品質

麻瘋樹種子進行下列分析：

- (1) 種子採收量：麻瘋樹中取 100 棵樹，按月統計採收的種子量。
- (2) 種子千粒重：分析方法依照鄒志軍等（2008）的方法，隨機採收的種子 100 粒，用 0.0001 克電子天平秤重，重複隨機取 3 次種子秤重，取平均 100 粒重量 W_1 ， W_1 乘以 10 倍為千粒重。本分析之天平，廠牌：METTLER TOLEDO；型號：AX 205-DR；測量上限：220 公克；解析度：0.0001 公克
- (3) 種子含油率測定。種子先以咖啡研磨機粉碎，再以索氏萃取方式計算種子含油率。

第四章 研究結果與討論

本章研究結果包含麻瘋樹試種地的氣候、土質、水源狀況，說明種植結果，並進行成本分析、SWOT 分析，以及策略規劃及建議。

4.1 麻瘋樹試種地概況

4.1.1 試種地氣候概況

麻瘋樹試種地位於苗栗縣頭份鎮，東經 120°55'，北緯 24°42'，海拔 165 公尺。苗栗縣的位置，在北迴歸線以北，其氣候屬亞熱帶季風型氣候，年平均氣溫在 20~22°C 之間。但氣候的變化因素，在於地形和冬夏不同與方向季風的影響。受到季風的影響，夏季時吹西南季風，冬季時則東北季風盛行，南端的大安溪、火炎山一帶是臺灣南北氣候的分界線，為冬季季風雨的南界，因此苗栗縣的冬季比臺灣中部其他縣市較為陰冷。夏、秋之際的颱風，往往給臺灣帶來狂風豪雨，造成災害，但苗栗縣受到中央山脈的阻擋，相形之下，受害情形和其他地區相較，要來得輕微(國家圖書館台灣研究入口網 <http://twstudy.ncl.edu.tw/>)。

苗栗地區平均氣象資料如表 4.1。月平均溫度以 6-8 月較高，約 27-28°C；12 月到隔年 2 月月平均溫度約 15-17°C。月降雨量以 6-8 月份颱風季節帶來的雨水較多，約占全年雨量 48%；每年自 10 月至翌年 3 月中旬間多陰雨，但降雨量不大。平均溼度各月差異不大，在 80-86% 間，屬高濕度潮濕氣候。年總日射量 4479.14 MJ/m²。

表 4.1 苗栗地區平均氣象資料

氣象資料	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	平均/ 總合
平均溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	15.07	15.51	17.88	21.69	24.71	27.15	28.28	27.73	26.12	23.24	20.16	17.23	22.06
月降雨量 (mm)	46.49	88.66	128.08	183.26	198.05	298.33	210.44	254.23	209.97	50.79	22.72	32.61	1723.63
平均溼度 (%)	83.83	85.38	85.24	84.27	84.14	82.68	81.87	84.45	86.05	82.91	80.61	80.41	83.49
總日射量 (MJ/m^2)	249.59	241.43	303.84	342.72	434.54	489.29	543.55	467.73	421.06	399.41	309.21	276.72	4479.14

資料來源：<http://mdores.coa.gov.tw> 農委會苗栗農改場 1990-2008 年農業氣象資料整理。

4.1.2 試種地土質狀況

試種地的土質分析結果如表 4.2。試種地面積約 10,000 平方公尺，土質屬中性黏壤土，一般過度使用化學肥的土質偏鹼；過度使用有機肥的土質偏酸，本試種地是未經開墾的荒地，土質中性。導電度表示土壤中可溶性鹽類的多寡，可初步判斷土壤肥力高低，試種地導電度 0.072ds/m，低於參考值 0.26-0.60ds/m 甚多，表示土地較貧瘠。有機質 1.16%，比參考值 2.0-3.0 低，亦顯示土壤貧瘠。有機性磷 4.37ppm，較參考值 20-100 低許多，磷為構成植物花果主要元素，不足時導致花朵果實少而小、品質差而且容易脫落。交換性鉀鈣鎂中，鉀及鎂含量適中，交換性鈣偏低，一般可以施用石灰資材提高鈣含量，但同時土壤 pH 值酸鹼度會提高。表 4.2 資料顯示麻瘋樹的種植地屬於酸鹼度中性，略偏貧瘠的種植土壤。

表 4.2 麻瘋樹種植地土質分析

項目	酸鹼度 1:1	質地	導電度 ds/m	有機質 %	有機性磷 ppm	交換性鉀 ppm	交換性鈣 ppm	交換性鎂 ppm
土質	7.00	黏壤土	0.072	1.16	4.37	82	383	129
參考值	5.5-7.0	--	0.26-0.60	2.0-3.0	20-100	40-120	600-1200	50-100

資料來源：農委會苗栗農改場檢驗結果

4.1.3 試種地水源狀況

試種地的水質分析結果如表 4.3。試種地的水源來自新竹縣大埔水庫（峨眉湖）的灌溉水，全年水源充分，水源酸鹼度 7.00 為中性，

表 4.3 麻瘋樹種植地水源分析

項目	酸鹼度 1:1	導電度 ds/m	銅 ppm	鋅 ppm	鎘 ppm	鎳 ppm	鉻 ppm	鉛 ppm
灌溉水	7.00	0.224	nd	0.053	nd	nd	0.051	nd
參考值	6.0-9.0	<0.75	<0.2	<2.0	<0.01	<0.5	<0.1	<0.1

資料來源：農委會苗栗農改場分析結果

導電度 0.224 ds/m 符合標準，銅、鋅、鎘、鎳、鉻、鉛等重金屬含量亦符合標準。

4.2 育種

種子播種的結果如表 4.4 所示。2008 年 4 月 3 日播種 500 顆麻瘋樹種子，兩週後發芽 412 顆，發芽率 82.4%；4 月 8 日播種 500 顆種子，兩週後發芽 393 顆，發芽率 78.6%，合計播種 1000 顆，發芽數量 805 顆，發芽率 80.5%。中國大陸廣西、四川、貴州、雲南、福建各地都有麻瘋樹種植，一

般麻瘋樹種子在保存良好狀況下，採收半年內育苗，發芽率為 80-85%（劉永紅，2006），蘭生葵等指出，麻瘋樹育種，苗圃發芽率一般為 60% 左右（蘭生葵等，2007），林曉輝於福建南安의試種中，平均發芽率 81%（林曉輝，2006），本試驗發芽率和一般麻瘋樹育苗發芽率數據相當。

表 4.4 種子播種的結果

播種日期	播種數量	發芽數量	發芽率，%
2008.04.03	500	412	82.4
2008.04.08	500	393	78.6
合計/平均	1000	805	80.5

表 4.5 為麻瘋樹種子播種三個月後的生長狀況，在 4 月份育種所有發芽的 805 棵幼苗中，經過 3 個月後，枯死幼苗 8%；苗高小於 25 cm 佔 16%；苗高 25-35 cm 佔 49%；高度達 35 cm 以上佔 27%。於 7 月 10 日至 15 日，挑選高度達 25 cm 標準的健壯幼苗 500 棵進行後續的移植。

表 4.5 麻瘋樹種子播種三個月後生長狀況

播種日期	幼苗生長高度狀況			
	枯死苗	<25 cm	25-35 cm	>35 cm
2008.04.03	7%	14%	52%	27%
2008.04.08	9%	18%	46%	27%
平均	8%	16%	49%	27%

註：2008 年 7 月 7 日統計幼苗高度

4.3 移植及管理

2008 年 7 月 10 至 15 日共移植 500 株幼苗。挑選育苗區苗高達 25 公分以上之健壯幼苗，將幼苗帶土整株起苗，迅速移植覆土並澆水。

移植後，於 2008 年 7 月底以 120 公分竹竿固定樹苗。在 7-10 月份雨季時，雜草生長非常快速，於 8 月及 10 月份各進行一次人工除草。麻瘋樹若未進行人工控高，成樹高 2-5 公尺，在立地良好的地區其高度可達 6-8 公尺（于矚明等，2006），果實採摘不便，若將高度控制在 2 公尺以內，可方便果實採摘，並節省採摘成本，本研究在 9-10 月份當樹高 50-80 公分時，摘頂心控制高度，促進側枝萌發。

圖 4.1 顯示麻瘋樹於當年度開花結果。麻瘋樹的花常見形成於枝條的頂端，一般雄花和雌花著生在同一個花序上，一般雄花多，雌花少，雌花約佔 3-10%（郭承剛等，2007；何亞平等，2008）。

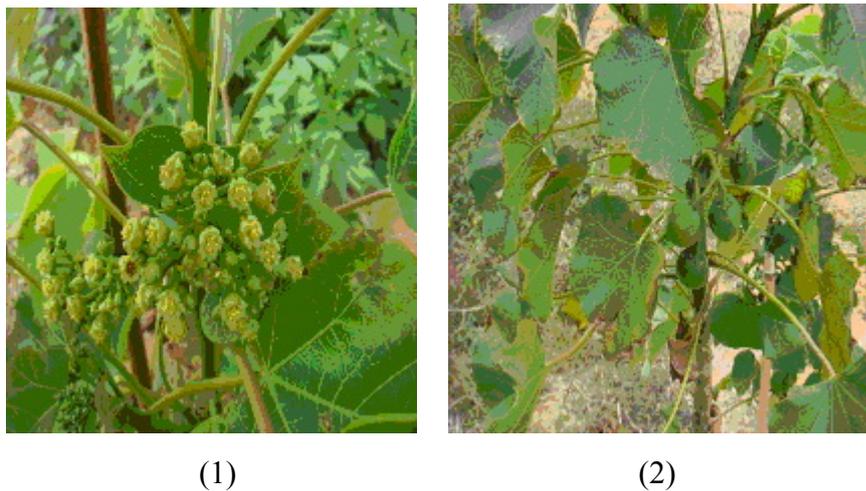


圖 4.1 麻瘋樹於栽種當年度(1)開花，(2)結果

表 4.6 為統計麻瘋樹當年度發育結果狀況，成活率 94%，平均樹高 92 cm，其中最高的樹高 125 cm，最低 50cm，結果株比例 21%，單株的結蒴果數為 3-19 個，一般麻瘋樹三年才開始結果，五年進入產果穩定期（洪長春，2008）。本試驗在第一年即有 21%麻瘋樹結果，顯示所使用之泰國種種子、種植地氣候、試驗方法等適當，後續需觀察更多年的生長狀況，才能有進一步的分析比較。

圖 4.2 顯示單枝結 14 個蒴果，果實一般不會自行掉落，需人工採摘。圖 4.3 為麻瘋樹蒴果、種子、種仁照片。蒴果初期為青綠色，漸漸變為黃色；再變為褐色的乾果；當採摘後，蒴果殼可輕易打開，一般蒴果殼內有三顆種子，少數會有兩顆或一顆種子，一般是以種子進行榨取麻瘋樹籽油，含油率 30-45%；種子可以再以工具剝開，白色的種仁含油率可達 60%（蘭生葵等，2007；卓開發等，2006；歐國騰、周世敏，2007；賴文安，2009）。

表 4.6 麻瘋樹當年度發育結果狀況統計

成活率 %	平均樹高 cm	最高/最低 樹高 cm	結果株數 株	結果株比例 %	單株 槲果數
94	92	125/50	105	21	3-19

統計日期：2008 年，12 月 29-31 日



圖 4.2 單枝結 14 個蒴果



圖 4.3 麻瘋樹蒴果、種子、種仁照片

颱風的影響：

2008 年共有 6 個颱風侵襲台灣，包含 7 月份卡玫基及鳳凰颱風，8 月份如麗颱風，9 月份辛樂克、哈格比及薔蜜颱風，由於樹苗以竹竿固定枝幹，並且苗株不高，受風面不大，颱風並未對麻瘋樹造成損害。

低溫的影響：

許多喜溫植物不能抵抗 0°C 以下低溫的冰凍傷害，但對 0°C 以上的低溫具有一定的忍耐性，即具有抗冷性。麻瘋樹在低溫脅迫下生長活動減慢，以減少冷傷害，尤其對 12°C 以上低溫具有較大的耐受性(羅通等，2005)。麻瘋樹對種植地區短時極端最低溫不能低於 -4°C (袁理春，2006；歐國騰等，2007)。參考表 4.1 苗栗地區氣溫資料，苗栗地區歷年各月平均溫度在 15°C 以上。如圖 4.4 所示，在夏季溫度較高，麻瘋樹樹葉茂密翠綠，種植地於 2008 年 11 月下旬寒流最低溫 6.3°C ，12 月上旬最低溫更降到 5.5°C ，但並未降雨，屬於乾冷天氣(林惠虹，2008)。寒流過後，多數的樹葉掉落，圖 4.5 顯示在冬季氣溫較低，在寒流過後，樹葉逐漸枯萎掉落。福建南安位於中國東南沿海，東經 $118^{\circ}10'$ ，北緯 $24^{\circ}58'$ ，福建南安的麻瘋樹種植報告指出，幼苗在秋冬逐漸落葉，隔年 3 月份又開始萌芽，長出新葉(林曉輝，2006)，與本種植試驗初步結果一致。



圖 4.4 夏季溫度較高，麻瘋樹樹葉茂密翠綠



圖 4.5 冬季氣溫較低，在寒流過後，樹葉逐漸枯萎掉落

4.4 種子收成量

表 4.7 為 2009 年及 2010 年每棵麻瘋樹的平均種子收成量，2009 及 2010 年分別為種植的第二年及第三年。表中 1-6 月份麻瘋樹均沒有種子收成，種植地麻瘋樹在 1-3 月時，因天氣寒冷，麻瘋樹樹葉掉光，未開花結果。在 4 月份，天氣逐漸變暖，麻瘋樹開始長出葉子，並且在 5 月開始開花，7 月份開始少量結果；收成量最大在 9 月份，10-12 月的收成量均較 9 月份低。2009 年每棵樹平均收成量 1,240 公克，2010 年為 1,512 公克。以樹間格長寬各

2.0 公尺及 2.5 公尺計，每公頃可種植 2,000 棵，則每公頃可產出 3,024 公斤種子。通常麻瘋樹於種植 5 年進入盛果期（胡志宏，2007），所以預期 2012 年進入盛產期的收成量會較每公頃 3,024 公斤多。

表 4.7 每棵麻瘋樹的平均種子收成量 單位:公克

年	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	合計
2009	-	-	-	-	-	-	20	260	458	180	126	196	1,240
2010	-	-	-	-	-	-	21	301	602	210	102	286	1,512

說明:

1. 1-6 月份無種子收成

2. 以每公頃種植 2,000 棵，則 2009 年每公頃收成 2,480 公斤；2010 年每公頃可收成 3,024 公斤。

王贊信等（2011）指出，在荒山上種植，且只靠雨水灌溉的情況下，每棵麻瘋樹年產 1.00-1.25 公斤種子（王贊信、盧英，2011；Kumar S. et al., 2003）。中國雲、川、貴麻瘋樹種植，每公頃的麻瘋樹種子產量為 600-4500 公斤（王贊信、盧英，2011；和麗萍等 2007；陳波濤等 2006；徐嘉等 2008）；在非洲，麻瘋樹最高每公頃可產 8 公噸種子（唐平等，2007；婁彥萍等，2009），好望角 1,750 公斤；泰國 794 公斤，巴拉圭 100-4,000 公斤（婁彥萍等，2009；Neyda 等，2008；N. Foidl，1996）。本研究第一年有 21% 麻瘋樹結果，2009 年每公頃收成 2,480 公斤，2010 年每公頃可收成量 3,024 公斤，顯示自種植第 1 年至第 3 年，產量逐年提升。

在 2008 年 12 月底及 2009 年 12 月底時，氣候濕冷，此時部分逐漸成熟成褐色的蒴果，會因潮濕而發霉變質無法採收，影響 12 月及隔年 1 月份收成量。

中國的學者研究指出，麻瘋樹喜炎熱氣候，為熱帶、亞熱帶以及熱帶高原氣候類型，常在年均溫 17.0-28.5°C，極端氣候 0°C 以上，年降雨量

480-2380 毫米的環境下生存；在溫度較低，熱量不足的地方，麻瘋樹能夠生長，但不能開花結果或結果少，顯示溫度對麻瘋樹生長及結果極具影響（張永利，2008）。本研究在 1-6 月份時溫度較低，沒有種子收成，結果與其符合。

參考表 4.1 苗栗地區平均氣象資料，每年 4 至 11 月是苗栗地區平均溫度高於 20°C 的月份，12 月至隔年 3 月份是溫度較低的月份，如果麻瘋樹種植於台灣中南部，平均溫度及雨量較苗栗地區高之地方，種植結果預期會較苗栗地區好。

種子千粒重是指 1,000 顆種子的重量，是種子品質的重要指標之一。同一植物的品種，千粒重高表示種子品質好。表 4.8 為 2009 年及 2010 年麻瘋樹種子千粒重，在 1-6 月份無種子收成，故沒有千粒重資料。

表 4.8 麻瘋樹種子千粒重 單位:公克

年	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
2009	-	-	-	-	-	-	596.0	606.5	633.5	718.5	709.0	642.0
2010	-	-	-	-	-	-	604.5	643.5	760.0	754.0	772.0	663.5

說明:1.千粒種資料未扣除種子中水分；2.千粒重實驗委託某生技公司檢測

2009 年 7 月份千粒重為 596.0 公克，並逐月提升，10 月份最高為 718.5 公克，在 11 月為 709.0 克，12 月份降為 642.0 公克。2010 年 7 月份千粒重 604.5 公克，8 月份提高為 643.5 公克，9-11 月份維持在 754.0-772.0 間，12 月份降為 663.5 公克。

9-11 月千粒重較高，亦即種子的品質較佳，而 7 月、8 月、12 月份的種子千粒重較低，表示種子品質相對較差。

陳健妙等學者（陳健妙，2009）於海南島的種植結果顯示千粒重為 517.09-595.32 公克；蘭生葵等學者指出，麻瘋樹千粒重約 670 公克（蘭生葵等，2007）；在中國雲南的種植研究，雲南 12 個地區的種子千粒種在

469.5-701.2 公克間 (王曦和龍春林, 2009)。

4.5 種子含油率

麻瘋樹籽的主要用途為榨取麻瘋樹籽油，用以生產生質柴油，所以種子含油率愈高，種子的價值愈高。表 4.9 顯示 2008 年、2009 年、2010 年的麻瘋樹種子含油率，2008 年為 30.2%；2009 年為 33.9%；2010 年為 35.1%，含油率逐年增高，可能是麻瘋樹於栽種後 5 年才進入盛果期 (胡志宏, 2007)，所以在栽種的第 1 年至第 3 年，採收種子的品質會逐年提高。影響含油率的因素很多，陳健妙等 (2009 年) 比較海南島 3 種不同品種含油率 (乾重)，分別為 49.3%、40.19%、36.56%；中國西南部的麻瘋樹調查中，麻瘋樹種子的含油率約在 30-41% 間 (Horst Weyerhaeuser et al., 2007)。

表 4.9 麻瘋樹種子含油率

單位:%

西元年	2008	2009	2010
含油率 (wt%)	30.2	33.9	35.1

說明:

- 1.2008 年為 12 月採收種子；2009 年為 9 月採收種子；2010 年為 10 月採收種子
- 2.含油率委託某生技公司檢測；含油率計算未扣除種子水份。

4.6 麻瘋樹產業成本分析

表 4.10 為麻瘋樹種植成本結構，麻瘋樹為多年生植物，在種植後約 5 年進入盛產期，種子可採收 30 年。在栽種第 1 年需較高的種植成本，包含直接費用每公頃 160,000 元，間接費用 6,597 元，總計第 1 年成本 166,597 元；第 2 年以後，直接費用 45,600 元，間接費用 6,597 元，第 2 年以後每年成本合計為 52,197 元。第 1-30 年的平均成本為每公頃 56,264 元，並且每

公斤種子成本為 18.6 元。

台灣由於種植面積小，並且人工成本較高，所以成本會較東南亞、非洲、中國等地區高。本研究於 2008 年及 2009 年洽詢馬來西亞及印尼的種子價格，在馬來西亞婆羅洲及印尼，向農民的收購價格約新台幣每公斤 6-10 元，較台灣的生產成本低。

表 4.10 麻瘋樹種植成本結構^{註1-4}

項目	金額 (NT\$/公頃/年)	
	第一年	第二年以後
種子 ^{註5}	4,000	--
肥料、藥劑	8,000	6,000
水電油等費用	24,000	12,000
人工費用		
整地	100,000	--
種子播種	1,500	--
澆水 ^{註6}	4,500	--
樹苗移植 ^{註7}	12,000	--
施肥、施藥、除草 ^{註8}	6,000	6,000
採果 ^{註9}	--	15,600
果實剝種子、儲存	--	6,000
直接費用合計	160,000	45,600
農用設施費 ^{註10} (含折舊費)	3,104	3,104
農機具費 ^{註10} (含折舊費)	3,493	3,493
間接費用合計	6,597	6,597
總計每年	166,597	52,197
平均每年生產成本 (30年攤提)^{註11}	56,264	
麻瘋樹種子成本(NT\$/公斤)^{註12}	18.6	
<p>註:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 以每公頃 (10,000 平方公尺)，橫縱各 2.0 及 2.5 公尺種植一株麻瘋樹，1 公頃種植 2,000 棵樹 2. 麻瘋樹種植後第一年 21% 結果，第五年進入盛果期，採收期可達 30 年 3. 人工費用以每工作天 1,500 元計 4. 土地成本不列入計算 5. 育種種子每顆 NT\$ 2 元 6. 種子播種後，到 3 個月後移植，澆水共 3 次；移植時及移植 1 週後澆水一次；其餘時間只需雨水，不另澆水 7. 每公頃需 8 個工作天 8. 每年各一次。每公頃施肥及施藥各一個工作天，除草 2 個工作天 9. 1-6 月份非果熟期，未採果；7-12 月份，每週一個工作天，工作量為 2.5 公頃；依本研究，第一年結果率 21%，不合經濟效益，故不採收 10. 參考張燿雪等，2010。油桐樹成本結構中農用設施費及農機具費資料 11. 第二年以後成本 52,197 元，加上一次性投入成本包含種子費，整地、播種、澆水、種苗移植等人工費用，以 30 年攤提，每年 4,067 元，平均每年生產成本 56,264 元 12. 每公頃每年生產 3,024 公斤種子，成本 56,264 元；每公斤成本 18.6 元 		

表 4.11 為麻瘋樹種植損益分析，每公頃種植成本 56,264 元，種植收入為 27,216 元，每年每公頃平均虧損 29,048 元。此部份並未算入種樹販賣碳權可能的收入。

表 4.11 麻瘋樹種植損益分析

單位: NT\$/ 公頃

麻瘋樹種植	成本		收入 ^{註2}		損益
	種植	56,264 ^{註1}	種子 ^{註3,4}	27,216	-29,048

註:

1. 參考表 4.10。
2. 收入未包含種樹碳權收入
3. 種子收成量按 2010 年每公頃 3,024 公斤，每公斤新台幣 9.0 元，每公頃收入 27,216 元
4. 種子價格參照（王贊信等，2011）；人民幣/台幣匯率 4.5，參考 2011 年 5 月 9 日網路匯率資料

表 4.12 為麻瘋樹籽油成本分析，每公斤麻瘋樹籽油成本 60.3 元，其中種子成本 55.8 元，占 92.5%；榨油成本 4.5 元，占 7.5%。

表 4.12 麻瘋樹籽油成本分析^{註1} 單位:NT\$/公斤麻瘋樹籽油

成本	種子成本 ^{註2}	55.8
	榨油 ^{註3,4}	4.5
合計		60.3

註:

1. 表 4.9，2010 年種子含油率 35.1wt%，假設榨油榨出率 95%，則每公斤種子榨出 333.5 公克麻瘋樹籽油；3000 公克種子榨出約 1000 公克麻瘋樹籽油
2. 榨油成本參考(謝文章，2008 年)，以種子 1.5 元/公斤計算，榨出 1 公斤麻瘋樹籽油需 3 公斤種子，每公斤成本 18.6 元，種子成本 55.8 元
3. 榨油成本為 1.5 元/公斤 x 3 公斤=4.5 元。
4. 未考慮榨渣收益

表 4.13 為國內植物油生產成本比較，自產大豆油並榨油，成本每公斤 62.75 元；自種自產向日葵籽榨油，成本 66.70-76.70 元；油菜籽油為 133.63 元；麻瘋樹籽油為 60.3 元，與自種自產大豆油相當，較葵花油及油菜籽油便宜。

國內種植植物油提煉生質柴油，較國外成本貴，例如大豆油進口成本為 19.09 元，葵花油為 22.88 元，油菜籽油為 22.88 元（謝文章，2008）。

表 4.13 國內植物油生產成本比較^{註1}

生產成本	大豆	向日葵 A	向日葵 B	油菜	麻瘋樹 ^{註2}
元/公斤	62.75	66.70	76.7	133.63	60.3

註:

1. 大豆、向日葵 A、向日葵 B、油菜為參考(謝文章，2008)
2. 麻瘋樹為表 4.12 資料

表 4.14 為麻瘋樹生質柴油生產成本分析，麻瘋樹酯油需經過轉酯化反應，如第 2.2 節中，方程式(2)生成生質柴油。每公升生質柴油的成本為 56.5 元，其中原料成本占大部分。

表 4.9 說明每公斤種子榨出 333.5 公克麻瘋樹籽油，提煉約 0.37 公升生質柴油，所以由表 4.6，每公頃年收成 3,024 公斤種子，可以提煉 1,118 公升生質柴油。目前估算之麻瘋樹種子產量為種植後第 3 年的結果，麻瘋樹一般於種植後 5 年進入豐產期，預期產量會再提高。

表 4.15 為國內能源作物產製生質柴油成本比較，大豆油、葵花油、油菜籽油提煉的生質柴油，每公升成本分別為 57.44 元、60.92-69.72 元、及 119.81 元，麻瘋樹籽油提煉的生質柴油價格略低，為 56.5 元。

表 4.14 麻瘋樹生質柴油生產成本分析

NT\$/公升

項目 ^{註1}	成本
原料成本 ^{註2}	54.27
藥品成本	1.33
水電及能源成本	0.37
人力成本	0.43
操作維護成本	0.13
管理費、稅、保險	0.10
副產品(甘油)收入	-1.13
轉酯化反應成本	1.00
單位生產成本(元/公升)	56.5
註:	
1. 除原料成本外，各項目成本參考(謝文章，2008)	
2. 原料成本依表 4.13 為 60.3 元/公斤，麻瘋樹籽油密度約 0.9，所以原料成本為 54.3 元/公升	
3. 參考表 4.7 及 4.9，每公頃每年可提煉 1,118 公升生質柴油	

表 4.15 國內能源作物產製生質柴油成本

生質柴油 成本	大豆油 ^{註1}	葵花油 ^{註1}	油菜籽油 ^{註1}	麻瘋樹 籽油 ^{註2}
元/公升	57.44	60.92-69.72	119.81	56.5

註 1. 參考(謝文章，2008)

2. 參考表 4.14

表 2.2 台灣中油公司 B100 生質柴油（100%生質柴油）採購價格，台灣中油每次採購量為 6,000 公秉，2010 年的價格在每公升 26.8-27.4 元，2011 年決標價格提高為 34.0-34.8 元。

目前國內生質柴油的主要用戶是台灣中油公司及台塑公司，比較表 2.2 及 4.15，台灣自產的植物油生質柴油，成本較市場價高許多，較不具市場

競爭力。

4.7 台灣推廣麻瘋樹產業的 SWOT 分析

SWOT 分析來自企業管理理論中的策略性分析規劃，分析政策實施或組織的優勢(Strength)、劣勢(Weakness)、以及外部環境的機會(Opportunity)、威脅(Threat)。S 為找出存在的優勢；W 為本身目前的弱點、缺點；O 在思考計畫產出的效益，並比較其他方案的機會；T 在於思考可能遇到的威脅。本章節探討台灣企業建立麻瘋樹產業的 SWOT 分析。

本研究透過麻瘋樹種植及資料蒐集，進行台灣企業建立麻瘋樹產業的分析。

表 4.16 台灣企業建立麻瘋樹產業的 SWOT 分析

優勢(S)	機會(O)
<p>S1. 麻瘋樹適合台灣種植</p> <p>S2. 種植麻瘋樹可吸收二氧化碳</p> <p>S3. 麻瘋樹適合提煉生質能源</p> <p>S4. 生質柴油可降低柴油引擎 CO₂ 排放量近 8 成</p> <p>S5. 麻瘋樹需水量不高</p> <p>S6. 荒地可種植麻瘋樹</p> <p>S7. 麻瘋樹渣可提煉生物農藥及醫藥</p> <p>S8. 台灣有生質柴油提煉技術，已有多家量產</p> <p>S9. 麻瘋樹產業可提高台灣能源自主率</p> <p>S10. 麻瘋樹產業可增加就業人口</p> <p>S11. 第一年可採收，豐產期 30 年</p> <p>S12. 種植到生質柴油的成本較其他生質能源相對低廉</p>	<p>O1.世界石油、煤碳、天然氣等能源不足</p> <p>O2.化石柴油排放較多污染物，而使用生質柴油可降低污染排放</p> <p>O3.台灣已實施 B1 生質柴油，預計 2011 年實施 B2，需 9-10 萬公秉生質柴油</p> <p>O4.台灣持續實施獎勵造林政策</p> <p>O5.台灣推動再生能源，而生質柴油屬可再生能源</p> <p>O6.2011 年日本 311 核電危機，凸顯生質能的安全性高</p>
劣勢(W)	威脅(T)
<p>W1.目前需人工採收果實種子</p> <p>W2.台灣種植面積破碎分散，多是小農經濟，成本較高</p> <p>W3.台灣人工費用較中國及東南亞地區高</p> <p>W4. 麻瘋樹全株具毒性，有誤食中毒之虞</p> <p>W5.台灣北部氣候較冷，11 月至隔年 3 月麻瘋樹落葉並停止開花結果</p>	<p>T1.台灣實施獎勵造林政策，不包含麻瘋樹</p> <p>T2.中油及台塑壟斷台灣汽柴油市場</p> <p>T3.東南亞及非洲均有麻瘋樹種子或麻瘋樹籽油出售，考量成本，台灣較不具價格優勢</p>

資料來源：本研究整理

4.7.1 優勢 (S)

S1. 麻瘋樹適合台灣種植

麻瘋樹原產於中美洲及南美洲，適合在熱帶及亞熱帶的區域生長，在南北緯 30 度間的區域內，都有不錯的產量，它是極佳的生質能源樹種。目前包含美洲、非洲、亞洲的印度、越南、菲律賓、中國西南、印尼、馬來西亞、柬埔寨...等國家，均有大面積種植。

本研究自 2008 年開始於台灣苗栗種植麻瘋樹，結果顯示麻瘋樹適合於台灣生長，在苗栗縣種植的麻瘋樹，發芽率 80.5%；第一年就有 21% 結果，4-5 月開始開花，8 月至隔年 1 月為結果期；另外，在 12 月天氣變冷時，逐漸掉葉，隔年麻瘋樹在約每年 3 月底 4 月初長出新葉。麻瘋樹在 2010 年每棵樹採收種子約 2-3 公斤，種子含油率 25-35%。本研究結果顯示麻瘋樹適合在台灣種植。

S2. 種植麻瘋樹可吸收二氧化碳

目前地球環境遇到的一個嚴重問題是氣候持續的暖化，其重要原因是大氣中二氧化碳濃度持續攀升，而且台灣二氧化碳的排放，比全球的平均值更高。西元 2005 年台灣人口 2289 萬，占全球人口比例 0.356%，但平均每人每年排放 11.41 噸二氧化碳，是世界人年平均值 4.22 公噸的 2.7 倍，顯示台灣二氧化碳排放量極待解決。

麻瘋樹行光合作用，可以消耗二氧化碳並排出氧氣，平均一棵麻瘋樹每年可以淨吸收 8-10 公斤二氧化碳，以每公頃種植 2000 棵麻瘋樹，則一年可以吸收 16-20 公噸二氧化碳。

S3. 麻瘋樹適合提煉生質能源

1998 年聯合國「生物多樣性公約」中，特別提到麻瘋樹籽油可作極好的柴油替代品，應該大力推廣（中國-聯合國開發計畫署綠色能源減貧合作

項目執行辦公室，2007)。汽柴油是多數機動車輛、機具的能源，例如汽車、大型運輸車輛、推土機、挖土機等。圖 4.6 各種生物質開發之生質燃料成本中可以看出，麻瘋樹提煉的生質燃料，在經濟規模種植下，其成本為每桶 43 美元，比起甘蔗、玉米、甜菜、大豆、油菜籽、小麥、纖維素等提煉的生質燃料低，所以值得開發 (Patrick Barta ，2007)。

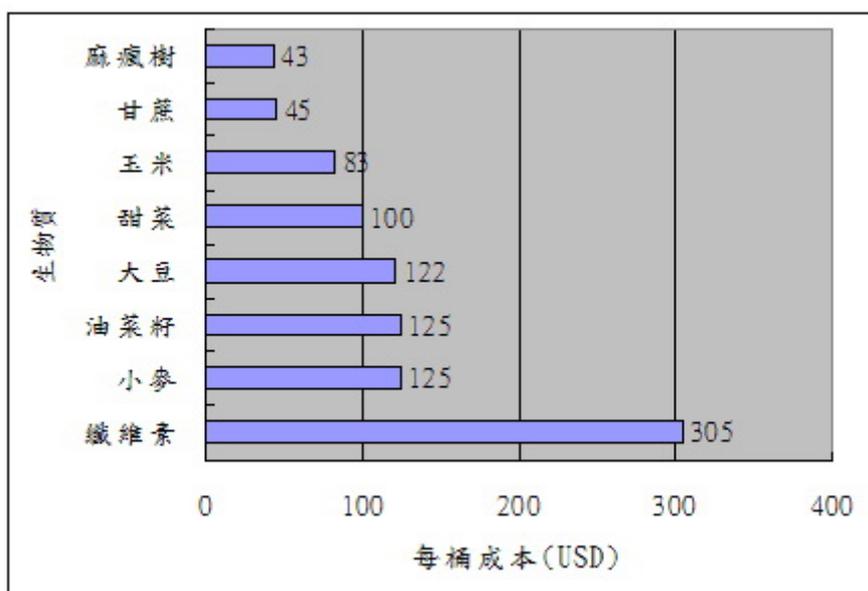


圖 4.6 各種生物質開發之生質燃料成本

S4.生質柴油可降低柴油引擎 CO₂ 排放量近 8 成

表 2.1 生物柴油與石化柴油的排放特性比較中，目前一般使用的石化柴油，二氧化碳排放量為 472 g/KW.h，生質柴油為 101 g/KW.h，使用生質柴油減少近 8 成二氧化碳排放，同時一氧化碳、碳氫化合物、氮氧化物、懸浮粒子、二氧化硫等排放污染物中，除了氮氧化物提高 14%外，其他一氧化碳、碳氫化合物懸浮粒子、二氧化硫等均降低。而氮氧化物提高，可以於排氣管末端加裝觸媒轉化器降低排放量。所以，生質柴油可降低柴油引擎 CO₂ 排放量近 8 成，並且降低污染排放。

表 2.1 生物柴油與石化柴油的排放特性比較 單位：g/KW.h

特性	CO ₂ 二氧化碳	CO 一氧化碳	HC 碳氫化物	NO _x 氮氧化物	PT 懸浮粒子	SO ₂ 二氧化硫
石化柴油	472	0.94	0.18	3.73	0.15	0.69
生物柴油	101	0.62	0.11	4.27	0.10	0.63

資料來源：印崧等(2008)

S5. 麻瘋樹需水量不高

麻瘋樹屬於耐旱植物，在年降雨量偏少的地方，也能正常生長，一般要求年降雨量在 300-1000 毫米或更多（中國-國家林業局科學技術司中國林業科學研究院，2008）。以本研究種植經驗，在育苗階段及移植的前一至二個月，需每週澆水 1-2 次，否則會提高枯苗的比例，在後續種植中，若未澆水，僅由雨水提供所需水份，麻瘋樹仍能生長良好。

S6. 荒地可種植麻瘋樹

S5 提到麻瘋樹需水量不高，同時也提高了麻瘋樹的種植可行性。台灣目前有許多休耕或廢耕的農地，同時許多山坡地或原鄉部落土地荒廢未開發，可以利用麻瘋樹需水不多、易種植的特性，廣泛的種植於休耕或廢耕的農地，以及山坡地、原鄉部落荒廢土地，可以提高土地利用效率，並且可以採收麻瘋樹籽增加收入。

S7. 麻瘋樹渣可提煉生物農藥及醫藥

麻瘋樹籽約含 30-40% 油脂，麻瘋樹籽榨出油用以提煉生質柴油，剩下約三分之二的榨渣，可以提供其他的用途，用以提高麻瘋樹的附加價值。麻瘋樹的渣，具有毒性，經過毒性脫除以後，麻瘋樹籽榨渣是很好的植物

性蛋白，可以作為禽畜的飼料；麻瘋樹渣的毒性物質，可以開發殺蟲劑、殺螺劑、愛滋病用藥、癌症藥物等用途。

S8. 台灣有生質柴油提煉技術，已有多家量產

麻瘋樹籽油榨出後，需再經過轉酯化化學反應，才能生成生質柴油，目前國內有多家生質柴油提煉工廠，如台灣新日化、積勝等公司，生產不是問題。

S9. 麻瘋樹產業可提高台灣能源自主率

台灣目前能源主要依賴進口，占 98% 以上，種植麻瘋樹可提高自主率。表 1.7 顯示台灣一年柴油需求量約為 450 萬公秉，實施 B2 生質柴油約需 9-10 萬公秉生質柴油，表 4.14 說明每公頃麻瘋樹種植可提煉 1,118 公升(1.118 公秉)生質柴油，則以荒廢地 80,500 公頃種植麻瘋樹，可滿足國內 B2 需求。台灣每年有 24 萬公頃休耕地（楊金興，2007），並且山坡地、濫葬墳地多，可鼓勵種植，提高能源自主率。

S10. 麻瘋樹產業可增加就業人口

根據行政院主計處資料（行政院主計處，2011），2011 年 3 月份台灣失業率為 4.48%，失業人數為 49.9 萬人。鼓勵麻瘋樹於荒地、山坡地種植，並由政府保證收購，可以增加就業人口，減少失業率。

S11. 第一年可採收，豐產 30 年

種植麻瘋樹第 1 年就可以少部份採收，第 5 年進入豐產期，可採收近 50 年，豐產期有 30 年，所以種植後，可以連續採收 30 年以上，相較於大豆、油菜等，採收期多許多倍，種植的人力成本相對較低，更適合人工成本高的台灣。

S12. 種植能源作物到生質柴油的成本較其他生質能源相對低廉

表 4.15 國內能源作物產製生質柴油的成本，麻瘋樹種植及提煉生質柴油成本每公升 56.5 元，比大豆油（57.44 元）、葵花油（60.92-69.72 元）、油菜籽油（119.81 元）便宜。

4.7.2 劣勢（W）

W1. 目前需人工採收果實種子

麻瘋樹的種子成熟過程，會由青色漸漸轉為褐色，此時果實內的種子成分發育成熟，油脂的含量和品質優良。果實成熟時，是掛在樹上，並不會自動掉落地面，並且，麻瘋樹邊開花邊結果，開花的時間不一致，果實成熟時間也不一致，出現「花與果同生，成熟果與幼果同存」的現象（陳放等，2007；張永利等，2008）。同一樹枝上的果實並非同時成熟，所以機械採收較困難，因此需要較多人工採收，對於人工較貴的我國，成本相對較高。人工採收，每人每小時可以採收 30 公斤果實，含有 18 公斤的種子（陳放等，2007；張永利等，2008）。

W2. 台灣種植面積破碎分散，多是小農經濟，成本較高

台灣地小人稠，多高山丘陵，山勢陡峭，並且台灣是小農耕種，每個農民可以種植的土地面積不大，所以種植成本相對較高。

在東南亞地區，每個農戶平均種植 5~6 公頃麻瘋樹，採收果實統一由合作廠商收購，2009 年至馬來西亞與吉隆坡 Bionas 公司 (www.bionasmalaysia.com) 接洽，在東南亞種子收購價格約為 NT\$6~10 元/公斤，此價格較表 4-10 中，台灣種植麻瘋樹所採收之種子每公斤成本 18.6 元低許多。

W3. 台灣人工費用較中國及東南亞地區貴

W2 及 W3 提到人工採收麻瘋樹每人每天採收 18 公斤種子，在東南亞 2009 年收購的價格約 NT\$ 6~10 元/公斤，所以每天工人收益為 NT\$ 108~180 元，以每月採收 25 天計算，農民每月收益為 NT 2,700~4,500 元，非洲、東南亞、印度等年所得相對低的國家，此收益可以維持家庭生計。台灣目前基本工資為每月 17,880 元，如果沒有其他誘因，種植的意願將不高。

W4. 麻瘋樹全株具毒性，有誤食中毒之虞

麻瘋樹具毒性，優點是毒素可以萃取藥物、殺螺劑，但另一方面，誤食會有中毒之虞。誤食會有頭暈、腹痛、嘔吐等症狀，並且會對內臟及皮膚造成損傷（陳實等，2001）。所以種植麻瘋樹要提防人畜誤食。

W5. 台灣北部氣候較冷，11 月至隔年 3 月麻瘋樹落葉並停止開花結果

麻瘋樹是喜熱植物，溫度是影響生長發育的主要因素，麻瘋樹對低溫反應敏感，尤其是幼苗最明顯。在溫度較低、熱量不足的地區，麻瘋樹能夠生長，但是不能夠開花結果，或者結果不多（張永利，2008）。

本研究於苗栗縣種植麻瘋樹，苗栗縣屬台灣中北部，在 11 月至隔年 3 月麻瘋樹落葉並停止開花結果。所以於台灣北部地區，冬季氣溫較低，麻瘋樹生長慢，每年 4 月至 10 月是主要生長期；南部由於全年溫度高，氣候溫熱，全年生長良好，預期產量會更高。

4.7.3 機會 (O)

O1. 世界石油、煤炭、天然氣等能源不足

在工業革命後，石油、煤炭、天然氣需求越來越大。如表 1.3 所示，石油、煤炭、天然氣可使用年限分別為 41.6 年、60.3 年、及 133 年，

O2. 化石柴油排放較多污染物，而使用生質柴油可降低污染排放

表 2.1 生物柴油與石化柴油的排放特性比較，使用生質柴油，二氧化碳排放減少近 8 成，可減緩溫室效應。

表 2.1 生物柴油與石化柴油的排放特性比較 單位：g/KW.h

特性	CO ₂ 二氧化碳	CO 一氧化碳	HC 碳氫化物	NO _x 氮氧化物	PT 懸浮粒子	SO ₂ 二氧化硫
石化柴油	472	0.94	0.18	3.73	0.15	0.69
生物柴油	101	0.62	0.11	4.27	0.10	0.63

資料來源：印崧等(2008)

另外，除了 NO_x（氮氧化物）外，其餘 CO（一氧化碳）、HC（碳氫化物）、PT（懸浮粒子）、SO₂（二氧化硫）等污染物排放量均降低，而排放量提高的 NO_x（氮氧化物），可以於排氣管加觸媒轉化器，降低 NO_x 量。

O3.台灣已實施 B1 生質柴油，預計 2011 年實施 B2，需 9-10 萬公秉生質柴油

國內已實施生質柴油添加於石化柴油之政策，隨著添加量提高，生質柴油的需求量會逐漸加大。

O4.台灣持續實施獎勵造林政策

台灣持續有獎勵造林政策，例如近期的綠海計畫，造林獎勵 20 年每公頃共給付 180 萬元。

O5.台灣推動再生能源，而生質柴油屬可再生能源

表 1-7 台灣生質能源推動目標，政府推動生質柴油及生質酒精兩項生質能源，其中生質柴油添加於柴油車輛及機器中，而生質酒精添加於汽油

車中。

O6. 2011 年日本 311 核電危機，凸顯生質能的安全性高

目前除了煤、石油、天然氣等能源外，核能是另一個重要的能源供給來源，表 1.4 2008 年我國能源總供給結構，煤、石油、天然氣共占 91.3% 能源供給，核能為 8.3%。目前台灣有核一、核二與核三核電廠運行中，另有核四廠興建中。

2011 年 3 月 11 日日本因地震引發海嘯，導致核電廠運作出現問題，附近居民撤退數十公里，無家可歸，並且可能污染臨近國家，甚至全球的海洋與大氣，顯示核能的不安定及風險，所以生質能源是相對非常安全的能源。

4.7.4 威脅 (T)

T1. 台灣實施獎勵造林政策，不包含麻瘋樹

台灣持續有獎勵造林政策，如表 1.9 說明。2008 年開始施行的綠海計畫中，獎勵及補助種植的樹種，共 33 種樹種，但並無麻瘋樹。若未有補助政策，麻瘋樹的種植平均每年每公頃的種植會虧損 29,048 元，見表 4.11 麻瘋樹種植損益分析，將沒有種植吸引力。

T2. 台灣中油及台塑壟斷台灣汽柴油市場

目前台灣銷售汽柴油，主要是台灣中油及台塑兩家公司，台灣生產的生質柴油，為此兩家公司壟斷。台灣提煉的生質柴油，要賣給台灣中油及台塑兩家公司，屬於買家市場。

T3. 東南亞及非洲均有麻瘋樹種子或麻瘋樹籽油出售，考量成本，台灣不具價格優勢

目前東南亞、非洲、印度、中國等國家地區，均有麻瘋樹種植，由於這些國家人工相對低廉，台灣不具價格優勢。

4.8 台灣建立麻瘋樹產業策略規劃:

4.8.1 建議政府將麻瘋樹種植列入獎勵造林的樹種

表 1.9 中，政府補助造林的樹種並未包含麻瘋樹。建議政府將麻瘋樹列入補助樹種。

表 4.17 政府補助麻瘋樹種植損益分析，每公頃每年的種植虧損 29,048 元，如果政府綠海計畫獎勵造林可以包含麻瘋樹，則每公頃每年可獲利 60,952 元。在東南亞，每個農民平均種植 5~6 公頃麻瘋樹。台灣以每個農民種植 5 公頃，則每年收益 304,760 元。

表 4.17 政府補助麻瘋樹種植的損益

項目	損益
種植損益 ^{註 1}	-29,048
平均每年政府造林補助 ^{註 2}	90,000
每公頃損益	60,952
註:	
1. 參見表 4.11	
2. 參見表 1.8，綠海計畫 20 年共補助每公頃 180 萬元，平均每公頃每年 9 萬元	

4.8.2 麻瘋樹種植產業是原民關懷、弱勢關懷

麻瘋樹種植是原民關懷、弱勢關懷。現在許多原住民離開祖居地，到都市從事勞力工作；另外，許多弱勢國民，亦離鄉背井，到都市工作，對

都市的不適應，以及許多幼兒留在家鄉，由祖父母照顧，所產生的隔代教養，以及親情疏離，是目前很嚴重的社會和親情問題。

由於麻瘋樹易種植，並且不需要肥沃的耕地，只需在荒地或山坡地就可以種植。由政府鼓勵原鄉青年、鄉村居民回鄉，並利用荒地、山坡地、墓地，由政府補貼種植，是解決原鄉、弱勢族群的方法之一。

表 4-17 政府補助麻瘋樹種植的損益，以每個農民種植 5 公頃，則每年收益 304,760 元，可以使原住民及弱勢家庭有固定收入，這是有尊嚴、自食其力，而非依賴社會救濟，並因雙親與幼童、老年人可以同住，解決社會問題，並促進和諧社會。

4.8.3 建議政府採取麻瘋樹種子保障價格收購，提高國內自主油源

綠色能源的產業，包含麻瘋樹種植、榨麻瘋樹籽油、提煉生質柴油。東南亞的麻瘋樹籽價格為每公斤約新台幣 6-10 元，中國大陸的價格每公斤為台幣約 9 元。表 4-10 算出台灣自產麻瘋樹籽成本為每公斤 18.6 元，考量種植收益，應以每公斤 20 元以上收購，才能吸引種植意願。

4.8.4 對油公司收取空氣污染費，並用於生質能源產業的開發

我國訂有「空氣污染防制法」，其中的「移動污染源管制」，由政府對機動車輛，隨油徵收空污費，目前是台灣中油、台塑等公司隨油代收，再轉交給政府。表 4-18 台灣中油公司 98 年及 99 年繳交空污費明細，台灣中油公司 98 年移動源空污費中，汽油 7,424,414 公秉，空污費 685,481 仟元，平均每公升空污費 0.092 元；柴油 3,635,661 公秉，空污費 469,406 仟元，平均每公升空污費 0.129 元。99 年移動源空污費中，汽油 7,222,257 公秉，空污費 771,849 仟元，平均每公升空污費 0.107 元；柴油 3,674,851 公秉，空污費 511,408 仟元，平均每公升空污費 0.139 元。

表 4.18 台灣中油公司 98 年及 99 年繳交空污費明細

	項目別	98年		99年	
		數量 (公秉)	金額 (仟元)	數量 (公秉)	金額 (仟元)
移動源	汽油	7,424,414	685,481	7,222,257	771,849
	柴油	3,635,661	469,406	3,674,851	511,408
	小計	11,060,075	1,154,887	10,897,108	1,283,257
固定源		156,685 (千元)		135,088 (仟元)	
總計		1,311,572 (千元)		1,418,345 (千元)	

資料來源: http://ivy5.epa.gov.tw/enews/fact_Newsdetail.asp?InputTime=1000328171241

行政院環保署網頁資料。「回應報載中油空污費繳交金額疑慮」, 2011.3.28

機動車輛污染的來源，很大部份是因為汽柴油帶有污染物，這部分並非終端的車輛使用者可以選擇的，另一部分則為車輛的效率。所以空污大部分是石油公司產生的，要對車輛使用者徵收空污費並不合理，應該由石油公司支付空氣污染費。

生質柴油是污染較少的油，可以降低空氣污染量，進而減少空污費。故應該對石油公司收取空氣污染費，並將空污費用於種植生質能源樹、民間生質能源的開發，是發展生質能源，並減少空污的方法之一。

4.9 台灣生質能源的發展策略建議

生質能源發展主要包含生質酒精和生質柴油兩項，整個發展流程包含三個步驟：

1. 油源取得：生質酒精的油源包含第一代的來源，包含甘薯、玉米、甘蔗、甜菜等醣類、澱粉類來源，其優點是來源容易、製程簡單，但缺點是會與人以及禽畜搶糧食，並造成物價上漲；第二代的生質酒精油源，主要是由農作物的廢棄物，如稻桿、玉米桿等提煉，優點是來源廣泛、原料

來源便宜、不會和人畜搶食物，但缺點是目前技術未成熟，難與第一代的來源成本抗衡。

生質柴油的油源包含大豆油、花生油、芝麻油、麻瘋樹籽油等植物油，另外還有回收油，以及藻類可以提取得油源。本研究的種植試驗顯示，麻瘋樹可以在台灣推廣種植。

2. 油源轉換為生質燃料：油源需經過化學反應轉換成生質燃料，一般醱類、澱粉發酵生成酒精；植物油經轉酯化反應生成生質柴油。此部分台灣技術和經驗相當豐富，例如台糖、台灣菸酒公司有豐富的製酒經驗，而目前轉酯化反應方面，有新日化、榮益等多家公司設廠。
3. 生質能源的行銷：目前廠商開發出的生質柴油及生質酒精，最後要加到石化汽油以及石化柴油中，所以目前廠商主要是台灣中油公司以及台塑公司，國內屬寡占市場。

台灣發展生質能源發展策略建議為：

- (1) 開發適當的生質能源來源物種：高產量、易種植、病蟲害少、需水量少、人工少、附加價值高的物種是適當的來源。生質柴油來源，建議將麻瘋樹列為可行的樹種。
- (2) 政府獎勵政策：目前國內有造林補助政策，綠海計畫補助造林 20 年，每公頃補助 180 萬，另有休耕地也有補貼政策。在生質酒精方面，首先以獎勵種植代替休耕補貼，種植甘蔗等作物，推廣生質酒精；其次開發纖維酒精技術，以稻桿、玉米桿、莽草等為原料，開發不與人畜爭食的生質能源。

生質柴油方面，麻瘋樹是可行樹種，建議列入獎勵造林樹種，以提高種植意願。

對於產出的油源，例如大豆、甘蔗、麻瘋樹籽，應採保證價格收購，或者價格補貼，否則國外進口來源比國內價格低，自產來源

將不具競爭力。

- (3) 政府掌控生質能源行銷通路：國內的汽柴油市場主要包含台灣中油及台塑兩家，影響生質能源的下游行銷通路，生質能源產出後，國內可開發之客戶，幾乎只有台塑、中油兩大集團，縱使無壟斷物價的疑慮，但在客源有限的情況下，行銷通路難以拓展。

建議政府輔導廠商尋找新的行銷通路，藉由競爭及市場機制，活絡市場，如此才能使國內生質能源穩定成長。

第五章 結論與建議

研究的結論、建議、限制如下：

5.1 結論

本研究 2008 年 4 月起於苗栗縣種植麻瘋樹，觀察育苗、移植、撫育等狀況，統計發芽率、成活率、樹高、結果株比例等數據。結果顯示發芽率 80.5%、幼苗移植成活率 94%、當年結果株比例 21%、單株結蒴果數量 3-19 顆。這些結果和國外種植結果相當，甚至更佳。

種植第 3 年，每公頃可收成 3024 公斤種子，含油率 35.1%。計算麻瘋樹每公斤成本 18.6 元，每年每公頃虧損 29,048 元，開發生質柴油成本為每公升 56.5 元，較大豆油、葵花油、油菜籽油產製的生質柴油成本低。

麻瘋樹適合在台灣生長，值得在台灣推廣種植及發展麻瘋樹生質柴油，既可種樹吸收二氧化碳，減少溫室效應；並且麻瘋樹籽提煉生質柴油可以替代石化柴油，解決能源問題，同時提高台灣能源自主率。

麻瘋樹喜熱耐旱，在試種地苗栗地區，冬季到春天的溫度較低，所以每年的 1-6 月份無法採收果實。在台灣中南部，氣候較溫熱，應有較長的採收期，所以每年的收成量會更多。

5.2 建議

建議政府將麻瘋樹列入獎勵造林的樹種，鼓勵失業勞工、原住民等利用荒地、山坡地種植麻瘋樹，在獎勵造林補助條件下，每公頃每年收益 60,952 元。

台灣生質能源發展策略建議：開發適當的生質能源來源物種、政府獎勵政策、政府掌控生質能源行銷通路。

5.3 研究限制

關於本研究的麻瘋樹種植數據，為於苗栗縣地區的種植結果，並未包含台灣北部及南部的栽種數據。生質能源的發展主要討論生質柴油及生質酒精，未包含生質廢棄物焚化熱能、垃圾掩埋場沼氣發電等。

參考文獻

一、中文部分

- 1.于矚明、孫建昌、陳波濤 (2006)，貴州的麻瘋樹資源及其開發利用研究，西部林業科學，第 35 卷第 3 期：14-17 頁。
- 2.王兆玉、杜延琪、岑岳柱、陳極鋒、金子敏 (2009)，小油桐甲醇提取物對福壽螺的藥效試驗，南方醫科大學學報，第 29 卷第 6 期：1235-1237 頁。
- 3.王秀娟、熊智、朱曉琴 (2008)，麻瘋樹應用研究進展，西南林學院學報，第 28 卷第 2 期：49-53 頁。
- 4.毛紹春、李竹英、李聰 (2007)，麻瘋樹籽油製備生物柴油及應用研究，中國油脂，第 32 卷第 7 期：40-42 頁。
- 5.王琪、唐小莉、陳仁德譯 (2005)，太陽電力公司：新能源·新就業機會，台灣:新自然主義股份有限公司
- 6.王曦、龍春林 (2009)，雲南小桐子資源調查與評價，雲南植物研究，第 31 卷第 5 期：455-460 頁。
- 7.王贊信、盧英 (2011)，麻瘋樹種子油生命週期的經濟、環境與能量效率，長江流域資源與環境，第 20 卷第 1 期：61-65 頁。

8. 出雲諭明(2005)，窒息的繁榮-論現代經濟發展和地球溫暖化，北京:中國環境科學出版社。
9. 行政院主計處 (2011)，100 年 3 月人力資源調查統計結果，
www.dgbas.gov.tw；100 年 4 月 22 日發布。
10. 行政院農業委員會綠色造林計畫執行情形，行政院第 3208 次會議報告，
99 年 8 月 12 日。
11. 行政院環境保護署網頁資料，
www.epa.gov.tw/FileDownload/FileHandler.ashx?FLID=9249，溫室效應之
影響與因應對策。摘錄於 2011 年 6 月 10 日。
12. 印崧、劉偉偉、劉微、夏萍(2008)，生物柴油的燃燒特性及其排放標準，
林業機械與木工設備，第 36 卷第 4 期：49-51 頁。
13. 投資台灣入口網網路資料(2008)，生質能源產業發展資現況與趨勢、生質
能產業分析及投資機會
http://investtaiwan.nat.gov.tw/doc/industry/06Biomass_Energy_Industry_cht.pdf。
摘錄於 2011 年 5 月 20 日。
14. 何文淑、蕭榮貴、楊曉瓊 (2002)，麻瘋樹在貧困地區農村發展和生態建
設中的開發前景，中國中醫藥信息雜誌，第 9 卷第 10 期：33-36 頁。
15. 何亞平、費世平、徐嘉、陳秀明、蔡小虎 (2008)，四川麻瘋樹花序結構

- 和雌雄花動態研究，四川林業科技，第 29 卷第 2 期：1-8 頁。
- 16.何亞平、費世民、徐嘉、陳秀明、蔡小虎、雷徹虹、王樂輝、羅建勛 (2008)，
四川麻瘋樹結構和雌雄花動態研究，四川林業科技，第 29 卷第 2 期：1-8。
- 17.吳再益 (2009)，台灣地區的長期能源發展戰略，
<http://www.ctci.org.tw/public/Attachment/9102010491771.pdf>
- 18.李育明 (2007)，認識綠色能源，高雄市：高雄市政府環境保護局、新自然主義股份有限公司共同出版。
- 19.李國忠 (2005)，大自然的空調系統 人造森林，科學發展，4 月，第 388 期：28-35 頁。
- 20.吳國卿譯 (2008)，碳交易：氣候變遷的市場解決方案，財信出版社。
- 21.李筱萍 (2011)，認識麻瘋樹，石油通訊，4 月，11-13 頁。
- 22.林惠虹 (2008)，苗栗區農業氣象概況，苗栗農改場網路資料，
<http://mdores.coa.gov.tw>。
- 23.卓開發、洪志猛、潘標志、林曉暉、陳玉印 (2006)，能源植物麻瘋樹閩東南引種試驗，林業技術開發，第 20 卷第 6 期：80-82 頁。
- 24.林曉輝 (2006)，福建南安麻瘋樹引種試驗初報，中南林業調查規劃，第 25 卷第 3 期：66-68 頁。

- 25.和麗萍、郎南軍、馬惠芬 (2007)，雲南省紅河州部分地區麻瘋樹種子的化學成分分析比較，西部林業科學，第 36 卷第 4 期：69-74 頁。
- 26.柳中明、李國忠、林俊成、劉育慈 (2001)，造林復育對台灣環境二氧化碳減量的貢獻，全球變遷通訊雜誌，第 31 期。
- 27.胡志宏 (2007)，雲南省双江縣膏桐基地建設經濟效益分析，林業調查規劃，第 32 卷第 4 期：144-147 頁。
- 28.胡強、劉振環、羅紅 (2006)，雲南生物能源作物資源概述，雲南農業科技，第三期：59-63 頁。
- 29.涂雅佩 (2007)，台灣發展生質能源園區之可行性研究，立德管理學院科技管理研究所碩士論文。
- 30.唐平、羅建勛、王雪婧 (2007)，麻瘋樹綜合開發利用研究進展，攀枝花科技與信息，第 32 卷第 3 期：22-28 頁。
- 31.唐敏 (2007)，桂西南麻瘋樹生長、種仁含油率及其與環境的關聯性研究，廣西大學碩士學位論文。
- 32.原剛 (2009) 審定，曾心怡譯，圖解世界環境變遷地圖，日月文化出版股份有限公司出版。
- 33.袁理春、徐中志、武達 (2006)，麻瘋樹種植技術，雲南農業科技，第 1 期：58 頁。

- 34.洪長春 (2008)，生質柴油綠金的新趨勢—麻瘋樹，科技發展政策報導，5月第3期：108-111頁。
- 35.徐嘉、費世民、何亞平 (2008)，四川麻瘋樹種群樹量特徵和更新研究，四川林業科技，第29卷第1期：1-6頁。
- 36.陳正中、張健丁、張建紅 (2007)，生物柴油副產物甘油的充分利用，中國膠黏劑，第16卷第12期：52-54頁。
- 37.郭承剛、王朝文、李建富、苟平、王代鵬、李蘭雲、武達、袁理春 (2007) 麻瘋樹物候期和花的發育動態觀察，現代農業科技，第一期：12-13頁。
- 38.尉海東、馬祥慶、劉愛琴、馮麗貞、黃益江 (2007)，森林生態系統碳循環研究進展，中國生態農業學報，第25卷第2期：188-192頁。
- 39.張永利編 (2008)，麻瘋樹豐產栽培實用技術，第一版，北京：中國林業出版社。
- 40.張世敏、張無敵、尹芳 (2007)，製備生物柴油所用催化劑的研究進展，節能技術，第25卷第6期：493-500頁。
- 41.陳放、呂文、張正敏編 (2007)，小桐子生產技術，第一版，四川成都：四川大學出版社。
- 42.陳波濤、鄒伯龍、郁建平 (2006)，貴州省麻瘋樹資源調查研究，中國林副特產，第6期：55-57頁。

- 43.陳健妙、劉聯、劉兆普、隆小華、鄭青松 (2009)，三種麻瘋樹種子油脂
肪理化特性比較，應用生態學報，第 20 卷第 12 期：2884-2890 頁。
- 44.陳實、陳識、吳玉蕊、洪妹、黃鸚 (2001)，兒童急性麻瘋樹果中毒 85
例，中華兒科雜誌，第 39 卷第 4 期：249 頁。
- 45.陳富永、林孟姿、蔣慕琰 (2003)，台灣各地小花蔓澤蘭族群變異分析，
中華民國雜草學會會刊，第二十四卷第二期，57-73 頁。
- 46.陳雲蘭 (2008)，百年來台灣氣候的變化，科學發展，4 月號，424 期：6-11
頁。
- 47.華健、吳怡萱編著 (2008)，再生能源概論，初版，台北市：五南圖書公
司。
- 48.張燿雪、林幸君、徐世勳、張靜貞 (2010)，油桐生質柴油對國內總體經
濟之經濟影響評估，2010 年台灣經濟學會年會暨台灣效率與生產力學會
聯合年會，台北：台灣大學農業經濟系。
- 49.曹華 (2007)，麻瘋樹樹皮化學成分研究，貴州大學農業學碩士論文。
- 50.婁彥萍、谷曉平、古書鴻、于飛、蔣斌 (2009)，小油桐種植研究進展，
貴州農業科學，第 37 卷第 2 期：33-36 頁。
- 51.鄒志軍、向振勇、程紅焱、李燕軍、宋松泉 (2008)，麻瘋樹種子的發育、

- 萌發和脫水耐性的初步研究，雲南植物研究，第 30 卷第 3 期，355-359 頁。
- 52.鄒紹林 (2005)，極具開發前景的生物能源樹-麻瘋樹，西南林學院學報，第 6 卷：44 頁。
- 53.楊廷芝 (2005)，非均相油脂酯交換法製備生物柴油工藝研究，四川理工學院學報，第十八卷第三期：32-34 頁。
- 54.楊金昌、陳森勝 (2010)，台灣種植麻瘋樹的可行性初探，環境與管理研究，第十一卷第二期：105-116 頁。
- 55.楊金興 (2007)，油脂作物品種開發與栽培，綠色油田在農業永續發展扮演的角色研討會專刊，行政院農業委員會農業試驗所特刊 132 號，農委會農業試驗所、中華永續農業協會編印，23-46 頁。
- 56.楊明德 (2010)，台灣發展生質柴油選擇的探討，國立高雄第一科技科技大學運籌管理系碩士論文。
- 57.葉欣誠 (2010)，抗暖化關鍵報告-台灣面對暖化新世界的 6 大核心關鍵，初版，台北市:新自然主義股份有限公司。
- 58.楊清、彭代平、段柱標、王正良、孫啟祥、彭鎮華 (2008)，小桐子開花生物學習性，福建林學院學報，第 28 卷第 1 期：52-55 頁。
- 59.楊琳 (2007)，麻瘋樹種子萌發特性研究，種子 (Seed)，第 26 卷第 5

期，88-89。

- 60.趙瑞方、華堅、陳放、張志林、尹華強、張正元，(2007)，化學活化法製備麻瘋樹果殼活性碳的實驗研究，四川環境，第 26 卷第 6 期：15-18。
- 61.維基百科，List of Countries by carbon Dioxide Emission，國家名單的二氧化碳排放量，
http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_carbon_dioxide_emissions，摘錄於 2011 年 6 月 29 日。
- 62.蒲朝煜、苟平 (2006)，麻瘋樹藥用研究獲進展，綠色中國，第 6 期，64-65 頁。
- 63.劉永紅 (2006)，小桐子的利用價值與栽培技術，經濟林研究，第 24 卷第 4 期：74-76 頁。
- 64.劉蓊 (2008)，論我國造林獎勵制度與財政監督機制，輔仁大學財經法律研究所碩士論文。
- 65.歐國騰、周世敏 (2007)，麻瘋樹育苗及栽培技術，林業科技開發，第 21 卷第 2 期：92-93 頁。
- 66.賴文安 (2009)，麻瘋樹栽培管理技術，廣西農業科學，第 40 卷第 2 期：141-143 頁。
- 67.謝文章 (2008)，國內發展生質柴油潛力分析，國立台北大學自然資源與

環境管理研究所碩士論文。

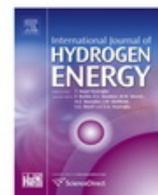
68. 魏琴、羅錦洪、徐洲、周黎軍、鄒嫫遠、張萍，(2009)，麻瘋樹油對幾種植物病原真菌的抑制活性，湖北農業科學，第 48 卷第 5 期：1157-1160 頁。
69. 蘭生葵、陸文科、盧靜韻、范瓊、蘭健勇 (2007)，麻瘋樹及其栽培技術，廣西農學報，第 22 卷第 1 期：43-45 頁。
70. 羅通、馬丹煒、鄧驚遠、陳放 (2005)，低溫對麻瘋樹生理指標的影響，中國油料作物學報，第 27 卷第 4 期：50-54 頁。

二、英文部分

1. Alok Kumar Tiwari, Akhilesh Kumar, and Hifjur Raheman. (2007), Biodiesel production from jatropha oil with high free fatty acid: an optimized process. Biomass and Bioenergy, 31: pp.569-575.
2. Chin-Chang Yang, Miao-Sheng Chen, Yu-Wen Chen (2011), Hydrogen generation by hydrolysis of sodium borohydride on CoB/SiO₂ catalyst, International Journal of Hydrogen Energy, 36: pp.1418-1423.
3. Horst Weyerhaeuser, Timm Tennigkeit, Su Yufang, and Fredrich Kahrl (2007), Biofuels in China: An Analysis of the Opportunities and Challenges of Jatropha Curcas in Southwest China, https://jatropha.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/jatropha/Biofuels_in_China-An_Analysis_of_the_Opportunities_and_Challenges_of_Jatropha_Curcas_in_Southwest.pdf, May 9, 2011 download.
4. Jongschaap REE, Corré WJ, Bindraban PS, Brandenburg WA. *Claims and Facts on Jatropha curcas L.: Global Jatropha curcas Evaluation, Breeding and Propagation programme. Report 158. Wageningen: Plant Research International BV (2007)*, The Netherlands and Stichting Het Groene Woudt, Laren, The Netherlands.
5. Kumar S., Gupta A. K., Naik S. N. (2003), Conversion of non-edible oil into biodiesel, J. Sci. Ind. Res. 62: pp.124-132.
6. Muanza De, and Euler Kl, Will Iaml, et al. (1995), Screening for antitumor and anti-HIV activities of nine medicinal plants from Zaire. International J.

Pharmacognosy, 33: pp.99-106.

7. Neyda C. Om Tapanes, Donato A. Gomes Aranda, Jose's w. De Mesquita Carneiro et al., (2008) , Transesterification of Jatropha curcas oil glycerdies: Theoretical and experimental studies of biodiesel reaction. Fuel, 87: pp.2286-2295.
8. N.Foidl, G. Foid M. Sanchez, M. Mittelbach, S. Hackel. Jatropha curcas L. (1996) As a source for the production of biofuel in Nicaragua. Bioresource Technology, 58: pp.77-82
9. Patrick Barta, Jatropha Plant Gains Sream in Global Race for Biofuels, The Wall Street Journal August 24, 2007 , <http://online.wsj.com/article/SB118788662080906716.html>
10. Rodhe H. A. Comparison of the contribution of various gases to the greenhpuse effect. Science (1990), 248: pp.1217-1219.
11. Saetae Donlaporn, Worapot Suntornsuk (2010), Antifungal activities of ethanolic extract from Jatropha curcas seed cake, J. Microbiob. Biotechnol. 20(2): pp.319-324.
12. Weiliang Cao, Hengwen Han, Jingchang Zhang (2005) , Preparation of biodiesel from soybean oil using supercritical methanol and co-solvent, Fuel, 84: pp.347-351.

Available at www.sciencedirect.comjournal homepage: www.elsevier.com/locate/he

Hydrogen generation by hydrolysis of sodium borohydride on CoB/SiO₂ catalyst

Chin-Chang Yang^{a,1}, Miao-Sheng Chen^a, Yu-Wen Chen^{b,*}

^a Graduate Institute of Management Sciences, Department of Business Administration, Nanhua University, Chiayi County 622, Taiwan

^b Department of Chemical and Materials Engineering, National Central University, Jhong-Li 32050, Taiwan

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 July 2010

Received in revised form

29 October 2010

Accepted 1 November 2010

Available online 4 December 2010

Keywords:

CoB

SiO₂ support

Hydrogen generation

Sodium borohydride

Hydrolysis

ABSTRACT

Generation of hydrogen by hydrolysis of alkali metal hydrides has attracted attention. Unsupported CoB catalyst demonstrated high activity for the catalytic hydrolysis of NaBH₄ solution. However, unsupported CoB nanoparticles were easy to aggregate and difficult to reuse. To overcome these drawbacks, CoB/SiO₂ was prepared and tested for this reaction. Cobalt (II) acetate precursor was loaded onto the SiO₂ support by incipient-wetness impregnation method. After drying at 100 °C, Co cations were deposited on the support. The dried sample was then dispersed in methanol/water solution and then fully reduced by NaBH₄ at room temperature. The catalyst was characterized by N₂ sorption, XRD and XPS. The results indicated that the CoB on SiO₂ possessed amorphous structure. B and Co existed both in elemental and oxidized states. SiO₂ not only affected the surface compositions of CoB, but also affected the electronic states of Co and B. B⁰ could donate partial electron to Co⁰. The structure effect caused by the SiO₂ support helped to prevent CoB nanocluster from aggregation and therefore the activity increased significantly on hydrolysis of alkaline NaBH₄ solution. The CoB/SiO₂ catalyst showed much higher activity than the unsupported CoB catalyst. At 298 K, the hydrogen generation rate on CoB/SiO₂ catalyst was 4 times more than that on the unsupported CoB catalyst. The hydrogen generation rate was as high as 10,586 mL min⁻¹ g⁻¹ catalyst at 298 K. CoB/SiO₂ is a very promising catalyst for this reaction.

© 2010 Professor T. Nejat Veziroglu. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Hydrogen is considered as a promising alternative energy in the next generation due to its non-toxic, environmental-friendly, a variety of sources to obtain and the relatively low cost. Many researchers have devoted to the work of hydrogen generation. There are many methods to produce hydrogen. Among them, the most attractive one is the generation of hydrogen by hydrolysis of alkaline metal hydrides. Sodium borohydride shows the superior qualities for providing a safe and practical way to generate hydrogen. Generating hydrogen by hydrolyzing NaBH₄ aqueous

solution has many advantages [1] high hydrogen storage capacity (10.7 wt.%); stability under alkaline state; hydrogen generation occurs only in the presence of selected catalysts; the reaction byproduct, sodium borate (NaBO₂), can be recycled, and the other byproduct in gas stream is water; reaction rate is easy to control; hydrogen can be generated even at 273 K, and the hydrogen generated has high purity.

At room temperature and without a catalyst, only a negligible amount of hydrogen is released in aqueous solution of NaBH₄, especially for the instance for adding alkali as NaOH into the solution. By adding a suitable catalyst, the hydrogen

* Corresponding author. Tel.: +886 3 4227151x34203; fax: +886 3 4252296.

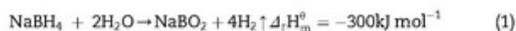
E-mail address: ywchen@cc.ncu.edu.tw (Y.-W. Chen).

¹ Ph.D Student, Department of Business Administration, Nanhua University.

0360-3199/\$ – see front matter © 2010 Professor T. Nejat Veziroglu. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

doi:10.1016/j.ijhydene.2010.11.006

generation rate is significantly enhanced. The hydrolysis reaction is exothermic and proceeds according to the following equation [2]:



Recently, more and more efforts have been made on research of the catalysts on hydrolysis of NaBH_4 . Many different metals or alloys have been reported to show good catalytic activities on this hydrolysis reaction. Schlesinger et al. [3] reported that colloidal platinum, platinumized asbestos, platinum oxidation catalyst, copper-chromic oxide, activated charcoal supported the fact that Raney nickel could accelerate the hydrolysis reaction apparently. Noble metals including Ru [4] and Pt [5] are widely employed as catalysts due to the high catalytic activities, but the scarcity and the high cost of these noble metals limited their application. Appropriate substitute materials for the noble metals based catalysts are keenly expected.

Since the 1980s, metal boride amorphous alloy catalysts prepared by reduction of metal salts with borohydride have attracted much attention in catalyzing the hydrolysis reaction owing to their unique properties, such as the isotropic structure and the high concentration of the coordination of unsaturated sites. It has been reported that cobalt boride catalyst showed the competitive activities with Pt and Ru based catalysts. In our lab, amorphous CoB, NiB catalysts have been used for the hydrolysis reaction. The results showed that CoB catalyst illustrated higher activity than NiB catalyst in NaBH_4 hydrolysis reaction, which is in good accordance with the literature. Dai et al. [6] synthesized nickel foam-supported cobalt–boron catalysts by hydrogenation with sodium borohydride. These catalysts showed similar catalytic activities as Ru and Pt-based catalysts. The stability of the catalyst is one of the most important factors to limit the application of these kind of catalysts. It was improved apparently on the supported catalysts. There are several papers on these that support hydrogen production. Xu et al. [7] prepared γ -alumina-supported Co catalysts, which exhibited excellent activities on hydrolysis of NaBH_4 . Simagina et al. [8] found that the Rh/TiO₂ catalysts showed the best performance for NaBH_4 hydrolysis. Demirci et al. [9] studied the Ru-promoted sulphated zirconia ($\text{ZrO}_2\text{-SO}_4^{2-}$) catalyst and investigated the kinetics of the NaBH_4 hydrolysis. Unsupported CoB catalyst demonstrated high activity for the catalytic hydrolysis of NaBH_4 solution. However, unsupported CoB nanoparticles were easy to aggregate and difficult to reuse.

In this study, SiO_2 -supported CoB catalyst was prepared. Unsupported CoB was prepared for comparison. It is known that CoB has a very strong interaction with Al_2O_3 . SiO_2 is inert and was chosen as the support in this study. The samples were characterized by N_2 sorption, XRD, TEM and XPS. The catalysts were tested for hydrogen generation by hydrolysis of sodium borohydride in a batch reactor.

2. Experimental

2.1. Chemicals

Cobalt acetate tetrahydrate (>98%) was supplied by Showa Chemicals (Tokyo, Japan). Sodium borohydride (>98.5%) was

purchased from Sigma–Aldrich. SiO_2 was obtained by Hayashi Pure Chemical Industries. Methanol (>99.9%) was from Tedia. Double distilled water was used in the preparation.

2.2. Catalysts preparation

All the reagents used in this research were analytical grade without further purification. Double distilled water was used for the catalysts' preparation. CoB/ SiO_2 catalysts were prepared by a two-step impregnation-reduction method. 0.21 g (0.001 mol) Cobalt (II) acetate tetrahydrate ($\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) was dissolved in distilled water. A suitable amount of SiO_2 support was put into the solution under magnetic stirring at room temperature for about 30 min, and then the material was dried in an oven at 373 K for 4 h. The dried powder was put into a conical flask. 5 mL 1 mol L^{-1} sodium borohydride solution (methanol–water mixture as solute, volume ratio = 1:1) was added into the conical flask in a dropwise manner using micro-tubing pump to reduce Co^{2+} . The suspension was kept under magnetic stirring. The reduction was conducted under nitrogen stream, which was used as a shelter gas to purge out oxygen in solution. The loading of CoB was 5 wt. %. Excess amount of borohydride ($\text{NaBH}_4/\text{Co}^{2+}$ molar ratio = 3/1) was used in order to fully reduce cobalt cations. The resultant black particles were centrifuged and washed with water and methanol thoroughly. Since CoB nanocluster on support was easily to be oxidized, it was kept in methanol solution.

For comparison, an unsupported CoB catalyst was also synthesized using similar method without SiO_2 support. Since unsupported CoB was very fine and would catch fire in dry form due to rapid oxidation by air, it was also kept in methanol for further use.

2.3. Catalyst characterization

The morphology, crystalline structure, surface compositions and the electronic states of the corresponding elements were characterized by various techniques.

N_2 sorption isotherms were measured at 77 K using a Micromeritics ASAP 2010. Prior to the experiments, the samples were degassed at 393 K until the vacuum pressure was below 10^{-4} Pa. The specific surface areas of the samples were calculated by Brunauer–Emmett–Teller (BET) method for relative pressures in the range $p/p_0 = 0.05\text{--}0.2$.

X-ray diffraction (XRD) patterns were obtained using a Siemens D500 powder diffractometer. The XRD patterns were collected using Cu K_α radiation (0.15405 nm) at a voltage and current of 40 kV and 30 mA, respectively. The samples were scanned in the range of $2\theta = 20\text{--}70^\circ$ at a scanning rate of $0.05^\circ \text{ s}^{-1}$.

The morphology of the samples was investigated by transmission electron microscopy (TEM) using a JEOL JEM-2000 FX II microscope operated at 160 kV. The sample was dispersed in methanol and then dipped onto a carbon coated copper grid (300 #) (Ted Pella Inc., CA, USA), and dried in vacuum over night.

XPS spectra were collected using Al K_α radiation at a voltage and current of 20 kV and 30 mA, respectively. The base pressure in the analyzing chamber was maintained on

the order of 10^{-7} Pa. The spectrometer was operated at 23.5 eV pass energy. The surface composition of the samples was determined from the peak areas multiplied by the corresponding sensitive factor of each element. All the spectra were deconvoluted using XPSPEAK software with a Shirley type background. The peak type was Lorenz–Gaussian (30: 70).

2.4. Catalytic activity

0.500 g NaBH_4 and 1.875 g NaOH were dissolved in 50 mL de-ionized water. The concentrations of the solution were 1% NaBH_4 and 3.75% NaOH . The pH of solution was 13. This aqueous solution was used for the hydrolysis reaction. The activity test setup is illustrated in Fig. 1. Firstly, 0.2 g catalyst was loaded into a flask which was sheltered by N_2 gas, and 12 mL of the above solution was fed into the reaction flask under magnetic stirring. The temperature of the reaction system was maintained by a water bath. The hydrogen generated was collected by an inverted and water-filled cylinder. Hydrogen volume was measured by monitoring the water displacement from the cylinder as the reaction proceeded. The relative error for the H_2 volume measurement was within 2%.

A comparison experiment was also conducted using unsupported CoB catalyst under similar conditions except that the amount of CoB was changed to 0.010 g (the same amount of CoB in 0.200 g CoB/SiO_2).

3. Results and discussion

XRD

The XRD patterns of SiO_2 -supported CoB, unsupported CoB and SiO_2 are shown in Fig. 2. No distinct peak could be observed in XRD patterns of the unsupported CoB and CoB/SiO_2 , indicating that the CoB possessed amorphous structure on SiO_2 . This result is in accordance with the literature. Wu et al. [10] have reported that CoB was amorphous after vacuum-dried at 90 °C and CoB diffraction could not be distinguished from the baseline. If the temperature increased from 90 to 300 °C, CoB diffraction peaks could be detected due to the crystallization or agglomeration of the small particles. In this study, the supported catalysts were dried in the

vacuum oven at room temperature. The mild condition successfully sustained the amorphous state of CoB catalyst. The SiO_2 was also amorphous. The XRD patterns did not show characteristic peaks of CoB in CoB/SiO_2 sample. In conclusion, both samples should not be heated at high temperature to prevent from sintering.

3.2. N_2 sorption

In order to understand the high activity of SiO_2 -supported CoB catalyst in the hydrolysis of alkaline NaBH_4 solution, two aspects should be considered. First, the texture features including the CoB dispersion, porous structure etc. originated from SiO_2 support favored the catalysis reaction. The electronic states of Co and B on surface also played key roles in the metal boride related reaction.

The texture properties of the CoB and CoB/SiO_2 were characterized by N_2 sorption measurements. The specific surface area of CoB was $17 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, which was much smaller than that of CoB/SiO_2 ($277 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$). CoB was highly dispersed on SiO_2 support, as expected. The highly dispersion of active species provided more chances for the reactants to adsorb on the active species.

The N_2 adsorption-desorption isotherm of CoB/SiO_2 catalyst is illustrated in Fig. 3. This sample showed a type IV isotherm and there was an H1 type hysteresis loop in the relative pressure range between 0.60 and 0.95. The N_2 sorption property was similar with the SiO_2 support (not shown here). The pore size distribution inset in Fig. 3 showed that there were two main pore sizes existed at 8.0 nm and 16.0 nm, indicating the mesoporous nature of CoB/SiO_2 sample. The characteristics is attributed to the SiO_2 support.

3.3. TEM

The TEM images of CoB and CoB/SiO_2 are shown in Fig. 4. Both samples were aggregated by nanoparticles due to very strong van der Waals force. The primary particle of CoB was about 3 nm. When it was exposed to air, it ignited immediately due to high oxidation rate. Therefore, the sample should be kept in methanol solvent to prevent from oxidation. The size of the

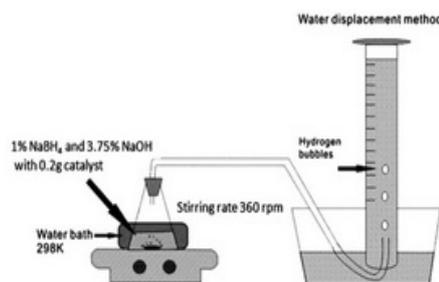


Fig. 1 – The reaction setup.

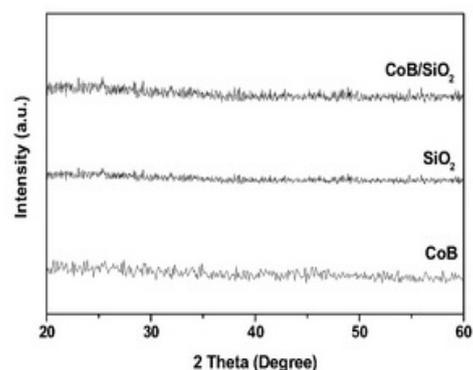


Fig. 2 – XRD patterns of CoB and CoB/SiO_2 catalyst and the SiO_2 support.

secondary particles of CoB in solvent was about 30–40 nm. For CoB/SiO₂ sample, the CoB particle size was about 3 nm. These results are in accordance with the XRD results. CoB/SiO₂ sample could be exposed to air without ignition. In other words, it was more stable than the unsupported CoB, and it was also easier to separate from solvent.

3.4. XPS

The XPS spectra of CoB and CoB/SiO₂ catalysts are shown in Fig. 5. The corresponding surface compositions calculated using XPS peak areas are listed in Table 2. The atom ratio of Co: B was 52.89: 47.11 for CoB. The Co/B ratio increased to 11.75: 6.01 for CoB/SiO₂, indicating the surface enrichment of Co species on the supported sample. Fig. 5A illustrates the Co 2p_{3/2} level of these two samples. There were two peaks in each spectrum. The peak of 778.4 eV for CoB was attributed to metallic Co which was close to the standard value (778.3 eV) [12]. The peak at 781.2 eV was ascribed to Co²⁺. For SiO₂-supported CoB, these two peaks shifted to 779.7 and 782.5 eV, respectively. The binding energy of Co⁰ on CoB/SiO₂ was 1.3 eV higher than the standard value.

Fig. 5B shows the B 1s level for CoB and CoB/SiO₂. The spectra of B 1s were very different between these two samples. There were two peaks located at 188.2 eV and 192.5 eV on unsupported CoB, corresponding to B⁰ and B³⁺ states, respectively. But for CoB/SiO₂ sample, the peaks shifted to 188.0 eV and 191.7 eV, respectively. It should be noticed that the binding energy of B⁰ for these samples were much higher than that of standard value (187.1 eV) [12]. It has been reported [13] that boron in metal borides acted as an electron donor and contributed partial electrons to Co. Consequently, the increase of the binding energy of B⁰ should be attributed to this reason. Some researchers have reported that boron did not donate electrons to metal [14,15]. The present results support the conclusion that boron donates electrons to nickel. The discrepancies are possibly due to different starting materials and different solvents used in preparation. The particle size of CoB in this study was much smaller than those in the literature. The change of binding energies of Co was not as much as that of B. There are two explanations for this.

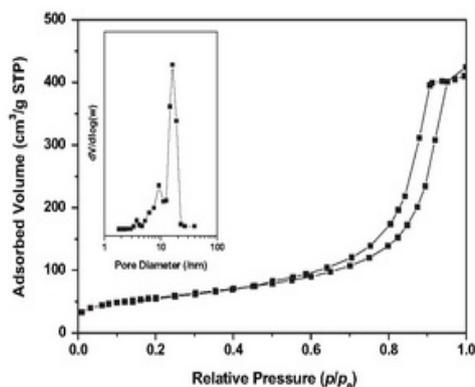


Fig. 3 – N₂ adsorption-desorption isotherms of CoB/SiO₂ catalyst (inset is the corresponding pore size distribution).

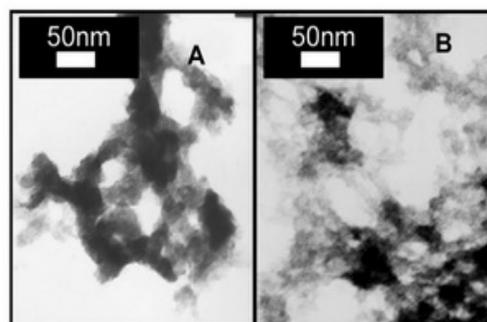


Fig. 4 – TEM images of (A) CoB and (B) CoB/SiO₂ catalysts.

Firstly, the amounts of Co were greater than that of B in the CoB catalyst. Secondly, the atomic weight of Co was greater than that of B, so the binding energy of Co was not as sensitive as that of B.

Surprisingly, the binding energy of Co⁰ on CoB/SiO₂ increased apparently. This could be explained by the following results. From the surface concentrations of Co and B

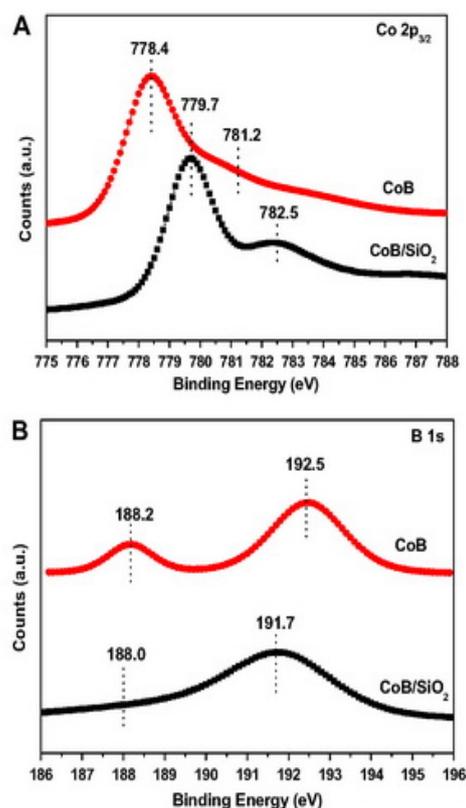


Fig. 5 – The XPS spectra of CoB and CoB/SiO₂ samples, (A) Co 2p_{3/2} and (B) B 1s.

Table 1 – The hydrogen generation rate from hydrolysis of alkaline NaBH₄ solution.

Catalyst (with 10 mg active species)	Hydrogen generation rate (mL min ⁻¹ g ⁻¹ catalyst)
CoB	2450
CoB/SiO ₂	10,586
SiO ₂	0

listed in Table 2, one could find that after CoB was supported onto SiO₂, the surface content of Co⁰ increased to 49.1% and that of B⁰ decreased to 19.9%. The decrease of B⁰ should affect the electron donation process of B. Furthermore, the atomic ratio of Co/B was increased, so the effect of B was further decreased.

3.5. Hydrolysis reaction of NaBH₄

The catalytic activities of the as-prepared catalysts were evaluated by the hydrogen generation rate on hydrolysis of sodium borohydride. There are many literatures on the hydrolysis of sodium borohydride using CoB catalyst. Wu et al. [10] reported that crystalline CoB displayed better catalytic performance on this reaction than the amorphous CoB catalyst. Hydrogen generation rate of CoB calcined at 500 °C increased to 2970 ml g⁻¹ min⁻¹. The results were questionable since CoB catalyst would sinter significantly at such a high temperature. Jeong et al. [11] also used crystalline CoB to catalyze the hydrolysis reaction. They found that the CoB catalyst treated at 250 °C showed the highest activity. The hydrogen generation rate was 2400 mL g⁻¹ min⁻¹.

To our knowledge, the amorphous structure of the particles combining the following features favored the catalytic properties: a large number of surface coordinating unsaturated sites; more crystal defects, and the isotropic phase nature of the materials. The first two advantages always acted as the active sites during the catalysis reaction, the last one could provide the catalyst many special properties such as shape-selective catalytic property.

Fig. 6 shows the hydrogen generation amount as a function of time from the hydrolysis of alkaline NaBH₄ catalyzed by CoB and CoB/SiO₂. The hydrogen generation rate of SiO₂-supported CoB was much higher than that of the unsupported

Table 2 – Surface compositions of CoB and CoB/SiO₂ samples.

Sample	CoB	CoB/SiO ₂
Surface Composition (Atomic ratio)	Co _{52.89} B _{47.11}	Co _{11.75} B _{6.01} /SiO ₂
Co	Co ⁰	47.1%
		778.4 eV
	Co ²⁺	52.9%
B		781.2 eV
	B ⁰	51.3%
		188.2 eV
	B ³⁺	48.7%
		192.5 eV

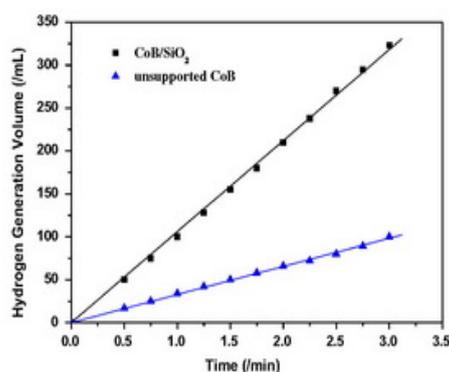


Fig. 6 – Hydrogen generation volume as a function of reaction time on SiO₂-supported and unsupported CoB catalysts. (Catalyst amount: CoB/SiO₂: 0.20 g, CoB: 0.01 g, 298 K).

CoB. The rates calculated from Fig. 4 are listed in Table 1. The SiO₂ support did not show any activity in this reaction. Comparing with Jeong's work [11], the reaction solution they used was 20% NaBH₄ + 5% NaOH at 293 K. Our amorphous CoB catalyst showed comparable catalytic activity. The SiO₂-supported CoB catalyst showed very high activity on this hydrolysis reaction. For the equal amount of active species (CoB), the hydrogen generation rate of CoB/SiO₂ was 4 times more than that of the unsupported CoB catalyst.

The H₂ production from the metal-catalyzed hydrolysis of NaBH₄ is proposed to take place by following three kinetics steps [16–21]. In the first step, BH₄⁻ ions are chemisorbed on the metallic cobalt atoms while in the second step the hydride ion H⁻ is transferred from BH₄⁻ ion to an unoccupied adjacent Co metal atom. In the last step, this negative charged hydrogen atom reacts with the water molecule to produce H₂ and OH⁻ ion. The formed OH⁻ ion reacts with electron deficient boron in BH₃ (absorbed on Co) to produce the BH₃(OH)⁻ ion. The cycle of the aforementioned three steps till all the BH₃ groups converted to B(OH)₄⁻. Molecular hydrogen is released during the full cycle. Looking at the mechanism mentioned above, the surface concentration of metal active sites was one of the key points to conduct the reaction. Although the binding energy of Co⁰ in CoB/SiO₂ was much higher than that of CoB which indicating the electron density decreased in this sample, the high dispersion of active species, good pore structure provided by SiO₂ support and the high Co⁰ surface content could compensate the higher binding energy. Consequently, compared to the CoB sample, the catalysis properties of CoB/SiO₂ was improved dramatically. The lower electron density of Co⁰ also enhanced the stability of CoB catalyst to some extent.

4. Conclusions

SiO₂-supported CoB catalyst was synthesized by the impregnation-reduction approach. Compared to the unsupported CoB catalyst, the catalytic activity of CoB/SiO₂ for NaBH₄ hydrolysis reaction increased apparently. The supported CoB

catalyst had a higher Co^0 content on its surface and SiO_2 support provided higher CoB dispersion and prevent from sintering. The electron donation from B^0 to Co^0 was also observed. The structure effect of SiO_2 helped the CoB nano-clusters to have high dispersion and better thermal stability, resulting in high activity on hydrolysis of alkaline NaBH_4 solution. The CoB/ SiO_2 catalyst showed much higher activity than the unsupported CoB catalyst. At 298 K, the hydrogen generation rate on CoB/ SiO_2 catalyst was 4 times more than that on the unsupported CoB catalyst. The hydrogen generation rate was as high as $10,586 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ catalyst at 298 K. CoB/ SiO_2 is a very promising catalyst for this reaction.

Acknowledgments

This research was supported by the National Science Council, Taiwan, under contract Number.NSC 97-EC-17-A-09-S1-022.

REFERENCES

- [1] Amendola SC, Sharp-Goldman SL, Sharp-Goldman SL, Janjua MS, Kelly MT, Petillo PJ, Binder M. An ultrasafe hydrogen generator: aqueous alkaline borohydride solutions and Ru catalyst. *J Power Sources* 2000;85:186–9.
- [2] Ozkar S, Zahmakiran M. Hydrogen generation from hydrolysis of sodium borohydride using Ru(0) nanoclusters as catalyst. *J Alloys Comp* 2005;404:728–31.
- [3] Schlesinger HI, Brown HC, Finholt AE, Gilbreath JR, Hoekstra HR, Hyde EK. Sodium borohydride, its hydrolysis and its use as a reducing agent and in the generation of hydrogen. *J AmChem. Soc.* 1953;75:215–7.
- [4] Richardson BS, Birdwell JF, Pin FG, Jansen JF, Lind RF. Sodium borohydride based hybrid power system. *J Power Sources* 2005;145:21–9.
- [5] Krishnan P, Yang TH, Lee WY, Kim CS. PtRu-LiCoO₂—an efficient catalyst for hydrogen generation from sodium borohydride solutions. *J Power Sources* 2005;143:17–23.
- [6] Dai HB, Liang Y, Cheng HM. Amorphous cobalt–boron/nickel foam as an effective catalyst for hydrogen generation from alkaline sodium borohydride solution. *J Power Sources* 2008;177:17–23.
- [7] Xu D, Zhang H, Ye W. Hydrogen generation from hydrolysis of alkaline sodium borohydride solution using Pt/C catalyst. *Catal Comm* 2007;8:1767–70.
- [8] Simagina VI, Storozhenko PA, Netskina OV, Komova OV, Odegova GV, Larichev YV, et al. Development of catalysts for hydrogen generation from hydride compounds. *Catal Today* 2008;138:353–9.
- [9] Demirci UB, Garin F. Ru-based bimetallic alloys for hydrogen generation by hydrolysis of sodium tetrahydroborate. *J Alloys Comp* 2008;463:107–11.
- [10] Wu C, Wu F, Bai Y, Yi B, Zhang H. Cobalt boride catalysts for hydrogen generation from alkaline NaBH_4 solution. *Mat Lett* 2005;59:1748–51.
- [11] Jeong SU, Cho EA, Nam SW, Oh IH, Jung UH, Kim SH. Effect of preparation method on Co–B catalytic activity for hydrogen generation from alkali NaBH_4 solution. *Int J Hydrogen Energy* 2007;32:1749–54.
- [12] Moulder JF, Stickle WF, Sobol PE, Bomben KD. Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy. Phys Electronics Inc. Minnesota USA; 1995.
- [13] Lu P, Toshima N. Catalysis of polymer-protected Ni/Pd bimetallic nano-clusters for hydrogenation of nitrobenzene derivatives. *Bull Soc Jpn* 2000;73:751–8.
- [14] Shen J, Spiewak BE, Dumesic JA. Microcalorimetric studies of CO and H₂ adsorption on nickel, nickel-boride, and nickel phosphide catalysts. *Langmuir* 1997;13:2735–9.
- [15] Chen Y. Chemical preparation and characterization of metal-metalloid ultrafine amorphous alloy particles. *Catal Today* 1998;44:3–16.
- [16] Guella G, Zanchetta C, Patton B, Miotello C. New insights on the mechanism of palladium-catalyzed hydrolysis of sodium borohydride from ¹¹B NMR measurements. *J Phys Chem B* 2006;110:17024–33.
- [17] Kojima Y, Suzuki K, Fukumoto K, Sasaki M, Yamamoto T, Kawai Y, et al. Hydrogen generation using sodium borohydride solution and metal catalyst coated on metaloxide. *Int J Hydrogen Energy* 2002;27:1029–34.
- [18] Dai HB, Liang Y, Wang P, Yao XD, Rufford T, Lu M, et al. High-performance cobalt–tungsten–boron catalyst supported on nickel foam for hydrogen generation from alkaline sodium borohydride solution. *Int J Hydrogen Energy* 2008;33:4405–12.
- [19] Dong H, Yang H, Ai X, Cha C. Hydrogen production from catalytic hydrolysis of sodium borohydride solution using nickel boride catalyst. *Int J Hydrogen Energy* 2003;28:1095–100.
- [20] Pinto AMFR, Falcao DS, Silva RA, Rangel CM. Hydrogen generation and storage from hydrolysis of sodium borohydride in batch reactors. *Int J Hydrogen Energy* 2006;31:1341.
- [21] Liang Y, Dai HB, Ma LP, Wang P, Cheng HM. Hydrogen generation from sodium borohydride solution using a ruthenium supported on graphite catalyst. *Int J Hydrogen Energy* 2010;35:3023–8.

個人簡歷

姓名：楊金昌

學歷：淡江大學公共行政學系畢業

南華大學管理科學研究所碩士

經歷：大華技術學院兼任講師

台灣茂怡股份有限公司董事長

鋁模實業股份有限公司董事長

現任：新竹市私立光復中學校務董事

佳邦科技股份有限公司監察人

鈺邦科技股份有限公司監察人

現職：威旺生醫科技(股)公司董事長

聿新生物科技(股)公司董事長兼總經理