

國立交通大學

工學院永續環境科技學程

碩士論文

廢耕地發展能源作物之效益與情境分析

Benefit and Scenario Analyses for Development of  
Biomass Energy on Long-Term Uncultivated Land



研究生：李啟弘

指導老師：高正忠教授

中華民國九十七年七月

廢耕地發展能源作物之效益與情境分析

Benefit and Scenario Analyses for Development of Biomass Energy on  
Long-Term Uncultivated Land

研 究 生：李啟弘

Student : Chi-Hung Lee

指 導 教 授：高正忠

Advisor : Jehng-Jung Kao



Program of Environmental Technology for Sustainability

July 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十七 年 七 月

## 摘要

台灣缺乏自主能源且面對國際溫室氣體減量壓力，因而有必要發展綠色能源。生質能源是國內推動的綠色能源之一，但是目前台灣發展能源作物之適宜性及效益，大多依據其他各國發展生質能源的經驗與成果，並未考量台灣在自然環境及氣候與各國之差異，無法適當評估能源作物在台灣發展的效益。再者，發展能源作物雖可以解決部分能源及溫室效應氣體之排放，倘若排擠糧食的正常供給，反而捨本逐末，因此本研究擬建立一套方法，分析台灣利用廢耕地發展能源作物之效益，以供進行相關決策分析時參考。

本研究發展之能源作物效益與情境分析方法包括分區方法、能源作物評選、優選模式建立、效益分析及情境分析等五大步驟。由於能源作物的選擇，涉及作物生長的自然條件及政府政策之推動，本研究因而以柯本氣候分類法為基礎，配合行政區界之調整建立分區方法。能源作物評選則依據地理及氣候等生長因素，主要考量能源作物的適栽性，包括土壤、降雨量、氣溫及日照等因素，其次考量能源作物的特性，包括產量、收穫數、產油率等因素，以篩選出各區較適種之能源作物。效益分析則針對環境、能源、經濟等三種效益，分析效益宜納入的評估因子及計算方法。優選模式是採二階段模式求取近似最佳解。第一階段先放寬生質柴油及生質酒精總需求量為最小需求量再加5%，求取能滿足總需求量的最小栽種面積；第二階段則以第一階段所求出的面積為限，求取最大效益解。

最後設定八種生質酒精及生質柴油需求情境，分析不同需求下各分區之優選作物、面積及效益。結果顯示情境六全面使用B2生質柴油及E3酒精汽油是較佳的方案，平均每公頃廢耕農地可減量約235萬公噸eCO<sub>2</sub>。

關鍵詞：生質能源、廢耕地、優選、情境分析、永續環境系統分析

## Abstract

Developing various green energies is important in Taiwan because Taiwan has very limited domestic energy resources and the reduction of greenhouse gases has become an essential national pressure. The biomass energy is thus currently promoted. However, most local biomass energy studies were primarily based on foreign experiences and overlooked Taiwan's specific natural environment and climate characteristics. As a result, the benefit for developing biomass energy crops in Taiwan was not properly assessed. Furthermore, energy crop development should not affect regular food supply. Therefore, this study was initiated to establish a method to evaluate the benefits of growing energy crops on long-term uncultivated lands in Taiwan.

The proposed method includes five major steps: district division, energy crop selection, benefit analysis, optimization model establishment, and scenario analysis. The entire nation is divided into three major biomass energy districts based on the Köppen climate classification and administrative boundaries. For selecting suitable energy crops to grow in each district, various geological and meteorological factors are evaluated, including soil, rainfall, temperature and sunlight resources. Expected harvest quantities and biomass energy yield rates are also evaluated for assessing the suitabilities for raising various crops. The benefit analysis is implemented for estimating environmental, energy yield and economic benefits. A two-step near-optimum model is applied. The first step relaxes the minimal demand of biodiesel and gasohol by 5% of the total demand. Then, the growing area determined in the first step is set as the upper limit in the second step to find the solution with the best benefit.

Eight possible scenarios for various bioethanol and biodiesel demands were analyzed. In each scenario, the optimal growing area of each energy crop and associated benefits were determined. According to the results, scenario 6, 100% usage of B2 biodiesel and E3 gasohol, shows the best unit benefit, about 2.35 million ton eCO<sub>2</sub> decrease per hectare.

**Keywords:** biomass energy; uncultivated land; optimization; scenario analysis; sustainable environmental systems analysis.

## 誌謝

在忙碌的生活中尋找自我充實的機會，是每一位在職研究生共同的目標。終於，在三年的學習中完成了這個目標。

三年研究生的日子，總是在教室、公司、家庭及圖書館間來回穿梭中渡過，其中除了所上教授及兼任教授對專班學生的付出及關懷外，最為感謝的是我的指導教授高正忠博士，高教授不但讓我學習到環境系統分析的專業知識，並且一步步引導我論文寫作的技巧及態度，更重要的是高教授對教育的熱忱及對社會的關懷，令我佩服。另外感謝環境系統分析研究室的學長姐子欽、宥禔及坤興等，給我在學業及論文上的協助與指導，才能讓我逐步完成這篇論文。其次，感謝大學母校大葉大學環工系老師們的鼓勵與栽培，尤其是李康文教授、魏漣邦教授及我的導師施英隆教授。在職專班的同學中，給我最大鼓勵的是班代表嘉俊，其他在學習上及工作上相扶持的同學志博、舒閔、淑君、玉華、岱叡、明皓、傑仁、日輝、超鈞、凱茹、姿樺、景隆、珮絹、永方、文隆、享星及學弟妹福裕、淑慧、皓竹等一併誌謝。

我的家庭中，感謝父親李沂先生及母親李邱淑英女士在精神上全力支持，讓我在出社會工作後還有機會重回校園學習。感謝二位姐姐李玫芬及李蕙芬對我在學期間無法兼顧孩子的時候，總是打理好一切讓我不因小孩的事而分心。感謝我的長子及次子，在爸爸讀書的期間很懂事也會幫忙作家事，讓爸爸有時間可以完成學業。以及我的妻子，在我學業中擔負了家庭及教育的重任，讓我無後顧之憂。感謝我的弟弟啟銘在天之靈的保佑，讓我能學業、家庭及工作三者間取得平衡，順利完成碩士學位。

最後感謝新竹關帝廟主祀的關聖帝君、文昌帝君及家中奉祀的神明常年庇佑，讓我一次又一次渡過家庭及學業的難關。

# 目錄

中文摘要	I
英文摘要	II
誌謝	III
目錄	IV
表目錄	VI
圖目錄	VIII
符號說明	IX
第一章 前言	1
1.1 研究緣起	1
1.2 研究目的	3
1.3 研究流程	4
1.4 論文內容	6
第二章 文獻回顧	8
2.1 分區方法	8
2.2 能源作物之評選因子	9
2.3 能源作物之評選方法	10
2.4 能源作物之效益分析	10
2.5 情境分析	11
第三章 分區方法	12
3.1 依氣象特性分區方法	12
3.2 依行政區界調整分區	15
3.3 案例區簡介	16
3.3.1 第一區	16
3.3.2 第二區	16

3.3.3 第三區 .....	17
第四章 能源作物之評選 .....	20
4.1 能源作物簡介 .....	20
4.2 台灣的主要能源作物 .....	21
4.3 能源作物之評選因子 .....	24
4.3.1 第一階段篩選因子 - 適栽地區環境因子 .....	24
4.3.2 第二階段篩選因子 - 適栽作物特性因子 .....	25
4.4 能源作物之評選方法 .....	26
4.4.1 適栽地區環境初選 .....	26
4.4.2 適栽作物特性評選 .....	31
4.5 能源作物之評選結果 .....	31
第五章 能源作物效益分析、優選模式及情境分析 .....	39
5.1 環境效益 .....	39
5.2 能源效益 .....	40
5.3 經濟效益 .....	41
5.4 優選模式 .....	42
5.5 情境設定 .....	45
5.6 結果與討論 .....	46
5.6.1 各情境分析 .....	46
5.6.2 情境分析結果討論 .....	48
第六章 結論與建議 .....	68
6.1 結論 .....	68
6.2 建議 .....	70
參考文獻 .....	72

## 表目錄

表 3.1 柯本氣候分類表 .....	19
表 4.1 第一區單位時間能源作物轉換潛力 .....	33
表 4.2 第二區單位時間能源作物轉換潛力 .....	33
表 4.3 第三區單位時間能源作物轉換潛力 .....	33
表 4.4 第一區能源作物土壤適栽評估方案 .....	34
表 4.5 第二區能源作物土壤適栽評估方案 .....	34
表 4.6 第三區能源作物土壤適栽評估方案 .....	34
表 4.7 第一區油料作物適栽性評選表 .....	35
表 4.8 第二區油料作物適栽性評選表 .....	35
表 4.9 第三區油料作物適栽性評選表 .....	36
表 4.10 第一區酒精作物適栽性評選表 .....	36
表 4.11 第二區酒精作物適栽性評選表 .....	37
表 4.12 第三區酒精作物適栽性評選表 .....	37
表 4.13 油料作物特性評選表 .....	38
表 4.14 酒精作物特性評選表 .....	38
表 5.1 能源作物對 eCO <sub>2</sub> 之減量 .....	51
表 5.2 能源作物之能源產量 .....	51
表 5.3 農民收入 .....	52
表 5.4 廢耕地利用之產值 .....	53
表 5.5 能源作物之效益 .....	54
表 5.6 台灣發展能源作物之政策及情境說明 .....	55
表 5.7 情境設定之需油量統計 .....	56
表 5.8 在模式一中所求得在區域 <sub>z</sub> 所使用的面積 $MA_z$ .....	57
表 5.9 情境一(SE1)之效益分析 .....	58
表 5.10 情境二(SE2)之效益分析 .....	59



表 5.11 情境三(SE3)之效益分析 .....	60
表 5.12 情境四(SE4)之效益分析 .....	61
表 5.13 情境五(SE5)之效益分析 .....	62
表 5.14 情境六(SE6)之效益分析 .....	63
表 5.15 情境七(SE7)之效益分析 .....	64
表 5.16 情境八(SE8)之效益分析 .....	65



## 圖目錄

圖 1.1 研究流程圖	7
圖 3.1 台灣能源作物分區圖	18
圖 5.1 環境效益	66
圖 5.2 能源效益	66
圖 5.3 農民收入之經濟效益	67
圖 5.4 廢耕地產值之經濟效益	67



## 符號說明

$A_z$	為區域 $z$ 最大適栽面積
$f_{k,z}$	為擬求得之區域 $z$ 作物 $k$ 的栽種面積
$A_{k,z}$	為區域 $z$ 作物 $k$ 的最大適栽面積
$D_{k,z}$	為區域 $z$ 作物 $k$ 的單位面積生質柴油之產量
$D_r^s$	為某一情境下生質柴油之總需求量
$G_{k,z}$	為區域 $z$ 作物 $k$ 的單位面積生質酒精之產量
$G_r^s$	為某一情境下生質酒精之總需求量
$B_{i,k,z}$	為區域 $z$ 作物 $k$ 效益 $i$ 之值
$MA_z$	為前一模式中所求得在區域 $z$ 所使用的面積



# 第一章 前言

## 1.1 研究緣起

隨著能源的日益匱乏以及地球暖化現象的加速，國際上已開始積極進行再生能源的開發。在眾多再生能源的評估中，能源作物因能行光合作用吸收二氧化碳，可減少溫室氣體，因此以能源作物產生之燃料，替代化石燃料是國際社會近年來所重視的策略，在實務上亦已經有以能源作物替代化石燃料的經驗，例如巴西利用甘蔗發展生質酒精(林，96年)，德國利用油菜(周，94年)及美國利用黃豆(陳，94年)發展生質柴油等。然而隨著能源作物的需求量逐年提升，雖可以解決部分能源供給及溫室效應氣體之排放問題，但也伴隨而來一些衝擊，例如影響糧食供應，及砍伐森林以供種植能源作物之用等，均已經背離發展能源作物之本意。因此本研究以不影響原有糧食生產為原則，以台灣因加入WTO而政策性補助之廢耕農地(或稱休耕農地)為標的，評估發展生質能的永續性。

為了推廣生質柴油，經濟部研擬「發展綠色能源—生質燃料執行方案」(經濟部能源局網站)，此方案共分四階段；第一階段的「綠色公車」，鼓勵公車使用生質柴油；第二階段的「Green County 綠色城鄉」計畫，建立區域性生質柴油產銷體系；第三階段全面實施在市售柴油內添加1%的生質柴油；第四階段預計在2010年將生質柴油添加比例提高至2%，以達成生質柴油利用達10萬公秉的發展目標。另外在生質酒精部分，規劃2007年綠色公務車先行計畫、2009年都會區E3(汽油內添加3%生質酒精)計畫及2011年全面供應E3等三階段行動方案。唯此，全國性的推動方案並未考量到區域性的差異，由於土壤環境、雨量多寡、氣溫變化及日照天數會直接影響能源作物的生長，然而台灣各地區這些地理環境及氣候因子均不盡相同，本研究因而依據台灣不同地區之地理環境及氣候，建立分析台灣各

分區發展能源作物效益之方法，並設定不同情境進行分析，以提供推動能源作物時參考。

有關的分區方式，過去曾有依土地用途分區，其主要以地貌型態考慮地下水補注量(范，87年)或者以農田水利會為分區單位，用以評估水稻田甲烷之散發量(吳，93年)；有關能源作物的分區，則以台灣全區域來分析(黃等，94年)，而且其內容並未考量空間性的差異。這些分區方式，有的未予分區即進行評估，有的分區目的與能源作物無關，導致其分區方式不太適用於本研究。各分區的環境、土壤及氣候條件均會影響能源作物之栽種，在氣象學上著名的柯本(Köppen)氣候分類法，(以下簡稱柯本法)，以植物分佈為氣候分區之依據，適合用以作為栽種能源作物分區的參考。而能源作物政策的執行，主要是由縣市行政單位推動，故本研究採用柯本法及配合行政區，劃分能源作物栽種分區，如此可以讓氣候特性相似且相鄰的縣市劃分為同一分區，以利於進行後續的效益分析及推動工作。

能源作物種類繁多，有的能源作物不適合台灣栽種，有的在台灣生長效果不佳，故有必要先進行篩選，以簡化後續分析的複雜性，能源作物是否適合栽種，需要依土壤環境及氣候等因素來評估。其次，有些能源作物每公頃的產量大，但實際上可以萃取出的有效能源產出相對不高，例如甘蔗的產量每公頃約可產出 104,000 公斤，但甘蔗生長期平均需 15~18 個月，單位時間酒精轉換潛力 642 公升/公頃/月，能源作物之作物特性，因而是評選時應考量的因素。本研究依各區環境的適栽性及及作物特性評選各區適栽的能源作物。

是否適合發展能源作物，應依據其效益優良與否來決定，過去在能源效益的評估，著重於經濟面考量(蘇，95年)；不過各種能源作物的成長過程，對於溫室氣體減量、土地利用型態的改變、農民所得均會有影響，因而有必要評估各發展方案的效益；然而如何評估，目前並沒有一個具體的方法可供使用，故本研究探討環境效益、能源效益、經濟效益及社會效

益等考量的因子，進而據以建立一套方法評估能源作物的效益。

國內雖已有建立評估生質柴油(蕭，95年)及生質酒精(王，95年)之實證模型，然而其模型未能考量分析各種效益優劣、效益權重大小及廢耕地適栽面積，故先前的實證模型不太適合用來分析各區發展能源作物的效益。本研究因而建立一個優選模式，依據前述環境、能源、經濟與社會等四面向效益及設定適當的權重作為目標式，並以廢耕地面積與適栽面積大小等為限制式，以期有效分析不同條件下之優選方案及效益。

由於發展生質能在國內才剛起步，有各種不同的可能性與發展，故本研究以經濟部提出之「發展綠色能源—生質燃料執行方案」及全國車輛用汽、柴油用量為依據，設定八種可能用油量之情境(Scenarios)，再應用所發展的方法與模式分析各分區適栽的能源作物及效益，以供作為推動相關政策與決策時參考。

## 1.2 研究目的

本研究主要建立一個台灣能源作物效益的評量模式，用以評估台灣各區發展能源作物的效益，且依情境分析方式尋求台灣發展能源作物之優選方案。主要研究目的有以下三項：

### 1. 篩選台灣各分區適栽之能源作物：

為了解各區適栽的能源作物及簡化後續分析的複雜性，依據每一分區的土壤優良狀況及氣候，評估各能源作物在各分區的適栽性，用以篩除在客觀上自然條件不適合栽種的能源作物；其次再依能源作物的特性，分析彼此之優劣程度，以量化的方式選出數種適合各區之能源作物。

### 2. 評估能源作物發展的效益：

能源作物的推動與發展，需考慮之效益有能源自主、環境保護、活化農村和經濟性等效益。每個效益對能源作物的代表性、

重要性及可否量化，成為本研究探討的標準，因此能源作物發展的效益主要考量：環境、能源、經濟等效益，綜合評估之。

### 3. 建立優選模式並依情境分析優選方案：

目前尚未有人建立以台灣廢耕地栽種生質燃料的優選模式可供分析，故需要建立一個適當的模式供作為本研究評估之用。本研究所建立之能源作物優選模式，主要考量能源作物的栽種面積、發展能源作物所產生之效益及該效益之重要性。另外情境分析是假設不同情境下，之優選方案及其效益，以供相關進行決策分析時參考。能源作物所生產之生質酒精或生質柴油，主要供應全國機動車輛日常消耗使用，故本研究以經濟部提出之「發展綠色能源—生質燃料執行方案」及全國車輛用汽、柴油用量為依據，設定八種可能用量之情境，全面使用 B2 生質柴油及 E3 生質酒精之目標，並加入 B5 及 E10 之八種情境，逐步達成全面實施，依不同車種採用生質燃料之比例搭配，作為每個情境之生質柴油及生質酒精需要量，以優選模式分析台灣能源作物栽種之優選方案及效益。

## 1.3 研究流程

本研究流程圖如圖 1.1 所示，除了文獻蒐集之外，主要分為分區方法、能源作物評選、效益分析與優選模式之建立及情境分析等五大步驟，以下摘要說明之：

1. 分區方法：由於各分區的土壤環境及氣候條件均會影響能源作物之栽種，本研究主要採用柯本法進行發展能源作物的分區方法。另由於而生質能源政策往往是以由縣市行政單位推動，故本研究以柯本法及配合行政區劃分生質能分區，讓氣候特性相似且相鄰的縣市劃分為同一分區，以利於進行後續的效益分析及推動工作。

2. 能源作物評選：能源作物主要分為油料作物及酒精作物，依據前述分區方法，評選該區之適栽能源作物。評選過程分為初選及複選二階段，初選的過程以該區域之自然條件為基準，舉凡栽種區之土壤、降雨、氣溫及日照天數等；複選的過程以能源作物之特性進行量化評比，例如能源作物產量、收穫數、產油(糖)率等。
3. 效益分析：針對發展能源作物所產生的效益，以不同面向以效益的重要性探討其適當性，並建立計算方法及實際數據，用以量化環境、能源、經濟等效益。
4. 優選模式建立：優選模式主要以能源作物的綜合效益最大化為目標，並以廢耕地面積、各區廢耕地面積、各區作物適栽面積、各區各作物單位面積可產生油量及各情境下之總需油量等為限制條件，來決定各區應如何種植能源作物、耕種面積及所得方案的效益。
5. 情境分析：本研究依據以經濟部提出之方案及全國車輛用油量為依據，設定八種可能用油量之情境。以各種情境下的總需油量作為需求條件，再以所發展的模式求取優選方案及分析與比較各方案的效益，以期作為相關決策的重要參考，改善決策的品質。



## 1.4 論文內容

之後數章，第二章主要介紹及回顧國內外相關文獻，並依國內外生質能發展、分區方法、能源作物評選方法、能源作物之效益分析、優選或決策模式及情境分析等子題回顧及討論所收集的文獻。第三章說明所採用的分區方法中，主要依氣象特性的分區方法及依行政區界調整分區的方法。第四章說明能源作物的適栽性及評選因子的選擇過程，詳述能源作物之評選方法及選定作物的原因；第五章說明效益分析、優選模式及情境分析；第六章總結本研究成果及建議未來可能的研究方向。



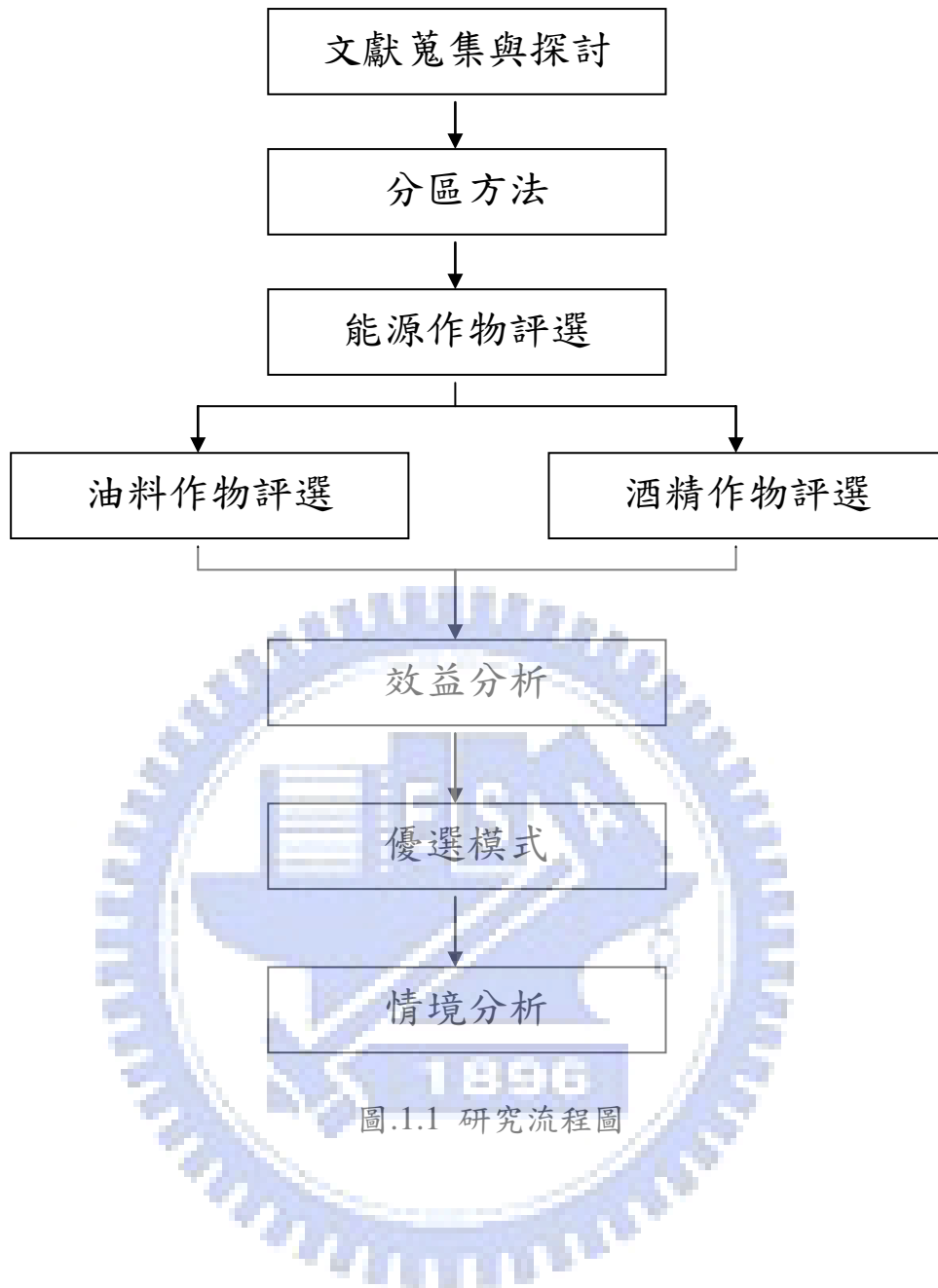


圖.1.1 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

本章中主要回顧及討論與本研究相關的文獻，除了說明過去研究人員已發表的相關研究成果，並探討本研究方向的必要性、可行性及重要性。相關重要文獻主要有討論分區方法、能源作物之評選因子、能源作物之評選方法、能源作物之效益分析以及情境分析等主題，以下各節分別討論各主題之相關文獻。

### 2.1 分區方法

分區方法的目的，是為了使研究過程中，空間差異的因素降到最低，經由合理適當的分區方法，使研究的結果符合各分區特性。由於各分區的環境、土壤及氣候條件均會影響能源作物之栽種結果，故本研究以廢耕地為發展能源作物的標的，一種可以兼顧作物生長環境及配合政策執行的分區方法，讓氣候特性相似且相鄰的縣市劃分為同一分區是本研究理想的分區方法。

台灣過去學者已有對臺灣氣候類型研究其分類方法，邱等(93年)提到，曾有學者利用柯本氣候分類法，將臺灣的氣候分成七個類型(蔣，43年；劉，52年；萬，63年)；亦有採桑士維氣候分類系統，將臺灣的氣候分成二十個類型(陳，46年)，但考量臺灣地理上原因該分類顯然過於複雜，故依照全年雨量、日照等因子，將全臺調整為七個氣候類型；其他尚有戚(58年)依照全年氣溫、雨量及地形效應等因子，將臺灣山區分為六個氣候區。

其他分區方法的研究中，范(87年)以土地為分區主體者，探討台灣地下水補注量所進行之分區，分為農業用地、草地、林業用地、水面、建築用地及土石裸露地等六大類。此外，吳(92年)曾以全國15個農田水利會為分區單位，用以評估水稻田甲烷之散發量，汪(69年)亦曾以單一作物之適

種條件分區，將台灣分為七個蔗作區。由於自然植物為非移動性，主要受氣候的變化所影響，在過去研究中，以氣候為分區主體者，有戴維斯(Davis)氣候分類法以地球風帶作為分區方法，由於柯本(Köppen)氣候分類法以植物分佈為氣候分區之依據，因此台灣多數學者所參考者為柯本氣候分類法，對本研究來說柯本法對植物的分類，較為適合本研究對各種能源作物栽種分佈的需求，故本研究之分區方法以柯本氣候分類法的精神為主軸。

## 2.2 能源作物之評選因子

影響能源作物生長的因子很多，對能源作物而言，評選因子的選定對評估過程是必要且重要的工作。過去研究中，曹等(93年)亦曾探討落花生新品種珍甜育成之品種特性因子，共分為植株形態、生育日數、產量及果莢籽粒。黃等(84年)曾經對春作綠肥作物適合性之評估，提出之影響因子分別是土壤調查分析、植株鮮重、雜草生質及作後玉米產量及性狀調查。此外，年度差異、生長溫度、栽植密度及氮肥施用量等環境因素，亦會影響玉米雜種之優勢。在土壤研究方面，郭(84年)曾針對台灣相關土性調查，說明氣象方面(例如氣溫、降雨等)、土地方面(例如地形、地質等)、灌溉方面及交通運輸是台灣土壤改良方法及作物栽培調整對策所應考量之重要因素。而土壤品質的定義，陳等(91年)提出七種定義方式，其中以「土壤具有植物及生物的生產力，能減少環境污染物而確保環境品質，以確保土壤品質與植物動物及人類的健康」最能被土壤學者所接受，然而定義並未有具體土壤分類標準。土壤的分類，主要以土壤調查方法，使土壤有系統的呈現彼此關係。根據王等(77年)之研究，台灣土壤的分類，學者多引用美國農業部土壤分類系統，但其定義的基礎是在對土壤「類別」的分類，而非作物「適栽性」的分類，例如美國新土壤分類系統共分為12個土綱其中台灣的分類中就有11個。

本研究歸納以往文獻中對能源作物之適用條件後，將能源作物評選因

子分為環境因子（土壤經濟、降雨量、氣溫、日照天數）及特性因子（產量、收穫數、產油或糖率），並對各因子優劣程度分別於第四章討論。

## 2.3 能源作物之評選方法

過去研究對作物之評選方法，多半將重點放在栽種所產生的性狀分析，例如謝等(87年)曾對台灣不同地區栽種台南白玉米族群性狀之變異，分析在台灣不同區域玉米栽種結果。利等(95年)亦研究評估甘藷的產酒率會隨著蒸餾溫度、發酵日數及甘藷的品種而有變化。

隨著國際油價的大幅上漲，能源作物的評估日益受到重視，在能源作物相關的研究中，林等(95年)曾討論國內種植能源作物的成本及環境上的效益。國外研究中，Jason et al. (2006)嘗試以生命週期評估之方法，比較生質柴油與生質酒精在環境、經濟及能源的成本與效益，而 Boyan et al. (2004)提出歐洲聯盟（簡稱歐盟，EU）曾對生質柴油的潛力最終報告，直接調查油菜等6種能源作物的潛力。由於上述研究均未具體說明如何評選能源作物之方法。因此，本研究提出之能源作物評選方法，是依據環境因子及特性因子，作為本研究篩選能源作物的標準。

## 2.4 能源作物之效益分析

能源作物的效益分析說法分歧，依據學者所強調的結果而定，黃等(94年)以生產潛力、生產成本及環境能源效益等三個指標作為評估項目。Alexander et al. (2006)亦曾討論酒精作物之淨能源與環境效益之影響，此外 Cesar et al. (2007)討論發展生質能所帶來的環境效益、經濟效益及能源安全效益。以目的而言，發展能源作物是希望改善環境污染、增加農民收入及增加自主能源的來源，另外由於能源作物之發展而增加之就業人口，也是能源作物發展後所增加之效益，因此本研究綜合了國內外文獻及我國發展能源作物之目的，定訂了環境效益、能源效益、經濟效益及社會效益等四

個效益，做為本研究分析之標的。

## 2.5 情境分析

Porter et al.(1991) 指出技術預測常用來預測功能特性的成長、舊技術被新技術替代的速度、市場滲透率、技術的擴散速度及技術突破的時間點與可能性等五項技術的屬性。蘇(94年)曾提到 Lempert et. al. (2003)指出不確定因素中，當有適當模式描述相關因素間交互作用，及已知相關因素的機率分配，並有相關因素的方案評估值，卻產生不知道或不能同意的結果時，不確定因素則存在。

因此，對於不確定因素的預測方法是決策分析中，重要的研究方法。學者曾就不確定因素的預測方法分析了有許多不同類型，目前最典型的分類方式分為監視法(Monitoring)、專家意見法(Expert Opinion)、趨勢分析法(Trend Extrapolation)、模式法(Modeling)、情境法(Scenarios)等五種。其中情境分析法是對未來狀態的描述集合，包含所有可能出現的狀況，余等(87年)認為情境預測是對未來外在環境形勢的綱要描述，而蘇(94年)描述當事者思想與行為的方法，可避免因統計檢定過程而刪除重要影響因素，而且可以擴大影響因素的搜尋。另外，David(1996)提出四種基本的預測方法：外推法(Trend extrapolation)、領先指標(Leading indicators)、因果模式法(Causal models)、及機率法(Probability Models)(Martino, 1993)。其他的預測方法尚有，判斷式預測、時間序列與歷史預測、因果性預測法、技術趨勢預測等。

本研究為了使推動能源作物相關政策與決策時有合理的參考依據，依據經濟部研擬「發展綠色能源—生質燃料執行方案」，設定八種可能因能源作物需求成長所產生需油量之情境，作為本研究評估各分區適栽能源作物之依據，以分析台灣利用廢耕地發展能源作物的可能結果。

### 第三章 分區方法

由於作物的生長與當地的土壤及氣候因素息息相關，台灣雖然幅員不大，但兼具有亞熱帶與熱帶氣候，四季尤其明顯，因此在不同區域的氣候特性不盡相同，故在進行能源作物評選前，合理的分區方法，是評估能源作物的適栽性的必要工作。本研究依據台灣的氣候特性進行分區，然而能源作物政策之推動需要地方政府配合，而且相關評估資料多以縣市為單位統計。故本研究之分區方法，首先依氣候特性分區後，對於跨越氣候特性分區的縣市，再以行政區界調整各分區之範圍，由此確定本研究之分區。

#### 3.1 依氣象特性分區方法

由於氣象條件是影響作物生長之主要因素，本研究依氣象特性分區的思考，是將氣象條件相近之區域劃分為同一區，作為評估各能源作物生長環境之依據。依據氣候特性，會影響能源作物栽種的因素很多，其中主要有雨量和溫度兩項。

在世界氣候分類的方法很多，其中柯本法是較著名且廣為運用的氣候分類法。柯本法能夠將錯綜複雜的世界氣候現象，以簡化的數據作為其基礎的氣候分區方法（樓等，89年）。柯本法主要以海洋季風及季節之推移狀況為分類標準，其後的修正則以雨量和溫度配合植物的植被分佈作為氣候分類標準，因此適合本研究評估能源作物之分區方法。雖然而柯本法在熱帶與溫帶氣候間缺乏亞熱帶氣候且忽略土壤中的水分平衡等因素，是其未考慮的地方，但柯本法是採用固定的臨界值，主要呈現地區長時間的平均氣候狀態，目前仍是氣候分類廣泛使用的方法之一，故本研究仍以柯本法作為氣候分類之方法。

柯本法的是以若干英文字母之組合，表示一種氣候型態。第一個字母表示主氣候型，例如乾燥、濕潤、寒冷等。第二個字母表示副氣候型，通

常以該地之降雨狀況而定，例如 Af 表示最乾月降水在 60 毫米以上。而第三個字母則表示若干氣候特徵，例如年溫差以 i 來表示、多霧以 n 來表示等。本研究依據中央氣象局所屬二十六個重要測站，自 1971-2000 年平均統計資料，其中包括氣溫、日照天數及降雨量。再依據柯本法對氣候的分類標準可以將台灣區分為若干氣候區域。以下簡述柯本法在台灣的適用性。

1. 熱帶濕潤氣候(A)，其氣溫在最冷月均溫需大於 18°C 以上。根據降水的差異分為三個副氣候型：

I. 熱帶雨林氣候(Af)：全年多雨，最乾月降水在 60 毫米以上。

台灣只有蘭嶼 1 個測站屬於熱帶雨林氣候。

II. 熱帶季風氣候(Am)：由於受季風影響，有一特別多雨的雨季。最乾月降水量小於 60 毫米。

III. 熱帶莽原氣候(Aw)：一年內有旱季和濕季。最乾月降水在 60 毫米以下。台灣屬於熱帶高草原氣候有高雄、大武、恆春、成功與台南 5 個測站。

此外，年溫差小於 5°C 的地區，除前二位英文字母代表外，加入 i 來表示其年溫差之氣候特徵。

2. 乾燥氣候(B)，降雨量低於林木生長所需之臨界值。夏雨區指 70% 以上的降水集中在夏季，冬雨區指 70% 以上的降水集中在冬季，根據降水的差異分為二個副氣候型：

I. 沙漠氣候 (BW)：指全年乾旱。

II. 草原氣候 (BS)：指有少量降雨。

台灣尚無屬於沙漠氣候或草原氣候者。

3. 溫帶濕潤氣候(C)，最熱月均大於 10°C，最冷月均溫在 -3~18°C 之間。根據降水季節分配再分為三個氣候型：

I. 溫帶夏乾氣候 (Cs) 或稱地中海氣候，夏半年最乾月降水量



小於 40 毫米，且小於冬季最多雨月降水的三分之一。

II. 溫帶冬乾氣候 (Cw): 冬半年最乾月降水量小於夏半年最多雨月降水的一成。台灣屬於冬乾溫暖氣候包括東吉島、澎湖、台南、永康、嘉義、台中、日月潭與梧棲等 8 個測站。

III. 溫帶常濕氣候 (Cf): 全年溼潤。台灣屬於溫帶常濕氣候包括淡水、鞍部、台北、竹子湖、基隆、彭佳嶼、花蓮、蘇澳、宜蘭、阿里山與新竹等 11 個測站。

4. 寒帶濕潤氣候 (D)，最熱月均溫在  $10^{\circ}\text{C}$  以上，最冷月均溫在  $-3^{\circ}\text{C}$  以下。再根據降水的季節分配，分為以下兩種氣候型：

I. 寒帶冬乾氣候 (Df): 全年降水分配均勻。

II. 寒帶常濕氣候 (Dw): 冬季乾旱。台灣無屬於上述分類者。

5. 極地氣候 (E)，最暖月均溫在  $10^{\circ}\text{C}$  以下，最冷月均溫在  $0^{\circ}\text{C}$  以下。

I. 苔原氣候 (ET): 全年雨量少，但蒸發量更少。台灣屬於苔原氣候 (Et) 有玉山 1 個測站。

II. 冰原氣候 (EF) 指全年雨量，蒸發量都很少，水份終年凍結。

在柯本法中尚有區分山地氣候 (G) 及高原氣候 (H)，由於台灣沒有這二種氣候類型故略之。由以上柯本氣候分類法所歸納的氣候類型，台灣之氣候狀況有熱帶雨林氣候 (Af)、熱帶莽原氣候 (Aw)、溫帶常濕氣候 (Cf)、溫帶冬乾氣候 (Cw) 及苔原氣候 (ET) 等 5 種氣候類型。由於中央氣象局所屬氣象測候站之分佈廣及高山、平原、丘陵地及外島等地點，依氣象測候站所處位置而論，每個氣象測站所代表的地區，並非均適合栽種能源作物，台灣的 5 種氣候類型有因土地面積狹小較不適合發展能源作物，例如熱帶雨林氣候所代表的蘭嶼，亦有因對作物之生長環境不佳，栽種能源作物的可能性不高，例如苔原氣候 (ET) 所代表的玉山即是，故此二種氣候型態排除在本研究之討論。經由柯本氣候分類後之台灣能源作物的分區，以熱帶莽原氣候 (Aw)、溫帶常濕氣候 (Cf) 及溫帶冬乾氣候 (Cw) 三種主要的氣候類

型，作為台灣能源作物之主要分區。

### 3.2 依行政區界調整分區

推動能源作物之發展需要地方政府配合，而且統計資料的來源，例如耕地面積等，均以地方行政區的縣市為統計單位，在分區方法中採用柯本法為分區方法，其優點是所分區域可以與能源作物自然條件相契合，然其缺點是當有某縣市跨二個或二個以上柯本分區時，在柯本分區與另一個柯本分區之分界處，所有統計資料的切割有實際的困難。台灣氣候雖有南北的差異，但並非十分明顯，雖然依前一節的方式區分了三個柯本分區，但若以分區與分區交界處，就柯本法分類項目的氣溫及雨量來看，在短期間內幾乎分不出其差異性，分區間的差異只不過是氣象測站與氣象測站間長期監測之結果，因此為解決統計資料的切割的困難，本研究採折衷方式依縣市的行政區界調整原定之柯本分區，以符合實際上之需求。

本研究提出之調整縣市行政區域之折衷方式如下，當某縣市之行政區跨越二個或二個以上柯本分區時，將此縣市行政區歸入依柯本分區時，所占區域面積較大的柯本分區中。這種在柯本分區與分區的交界處依縣市行政區域的調整方式，主要為了保有柯本法對地球季風及植被生長條件的分區精神，符合能源作物生長之需要。經由折衷方式實際分區的結果來看，在未調整前，台南屬熱帶莽原氣候（Aw）及溫帶冬乾氣候（Cw）二種氣候型態之複合區，就台南而言，溫帶冬乾氣候（Cw）所占面積大於熱帶莽原氣候（Aw），故調整後將台南劃入溫帶冬乾氣候（Cw），又例如花蓮亦同。

### 3.3 案例區簡介

依前述縣市行政區域之折衷方式調整分區，如圖 3.1 所示，可以將台灣分成三大分區，作為本研究評估及分析台灣能源作物效益之分區方式：

1. 第一區：溫帶常濕氣候 (Cf)，包含台北，基隆，宜蘭，花蓮，桃園，新竹及苗栗等縣市。
2. 第二區：溫帶冬乾氣候 (Cw)，包含台中、南投、彰化、雲林、嘉義及台南等縣市。
3. 第三區：熱帶莽原氣候 (Aw)，包含高雄、屏東及台東等縣市。

以下一一簡述各分區環境特色。

#### 3.3.1 第一區

第一區位在台灣北部地區及大部份的東部，冬季有來自西伯利亞的大陸冷高壓，以東北季風為主，夏季則有來自太平洋的海洋性高氣壓，以西南季風為主。氣溫方面最高氣溫與最低氣溫的相差比較大。台灣大部分的雨水來源是五、六月的梅雨季，及七月至九月的颱風季，這兩個主要降雨的天氣系統也是台灣的重要水資源來源（中央氣象局網站，97 年）。土壤方面第一區的土綱種類較複雜，以台灣縣土圖（陳等，91 年）所分類，有宜蘭的新成土、台北縣與苗栗的極育土、桃園的氧化物土及花蓮的黑沃土。

#### 3.3.2 第二區

第二區位在台灣中部地區及西南部廣大平原，冬季由於中央山脈阻擋主東北季風較不明顯，夏季則因熱力環流現象引起海陸風及對流雲系的發生（祝等，79 年）。氣溫方面最高氣溫與最低氣溫的相差比較大。第二區雨量隨地形變化較第一區明顯（劉，79 年），另外七月至九月的颱風季，

是台灣的重要水資源來源。土壤方面第二區的土綱種類（陳等，91 年），有台中、彰化及雲林的弱育土，南投與嘉義的極育土等。

### 3.3.3 第三區

第三區(中央氣象局網站，97 年) 位在台灣南部地區，地理位置接近熱帶氣候，日照充足，冬天及夏天的溫度變化比北部來得小，第三區的雨水來源是五、六月的梅雨季，及七月至九月的颱風季，冬天則是較少降雨。土壤方面第三區的土綱種類（陳等，91 年）所分類，有高雄與屏東的弱育土及台東的膨轉土等。



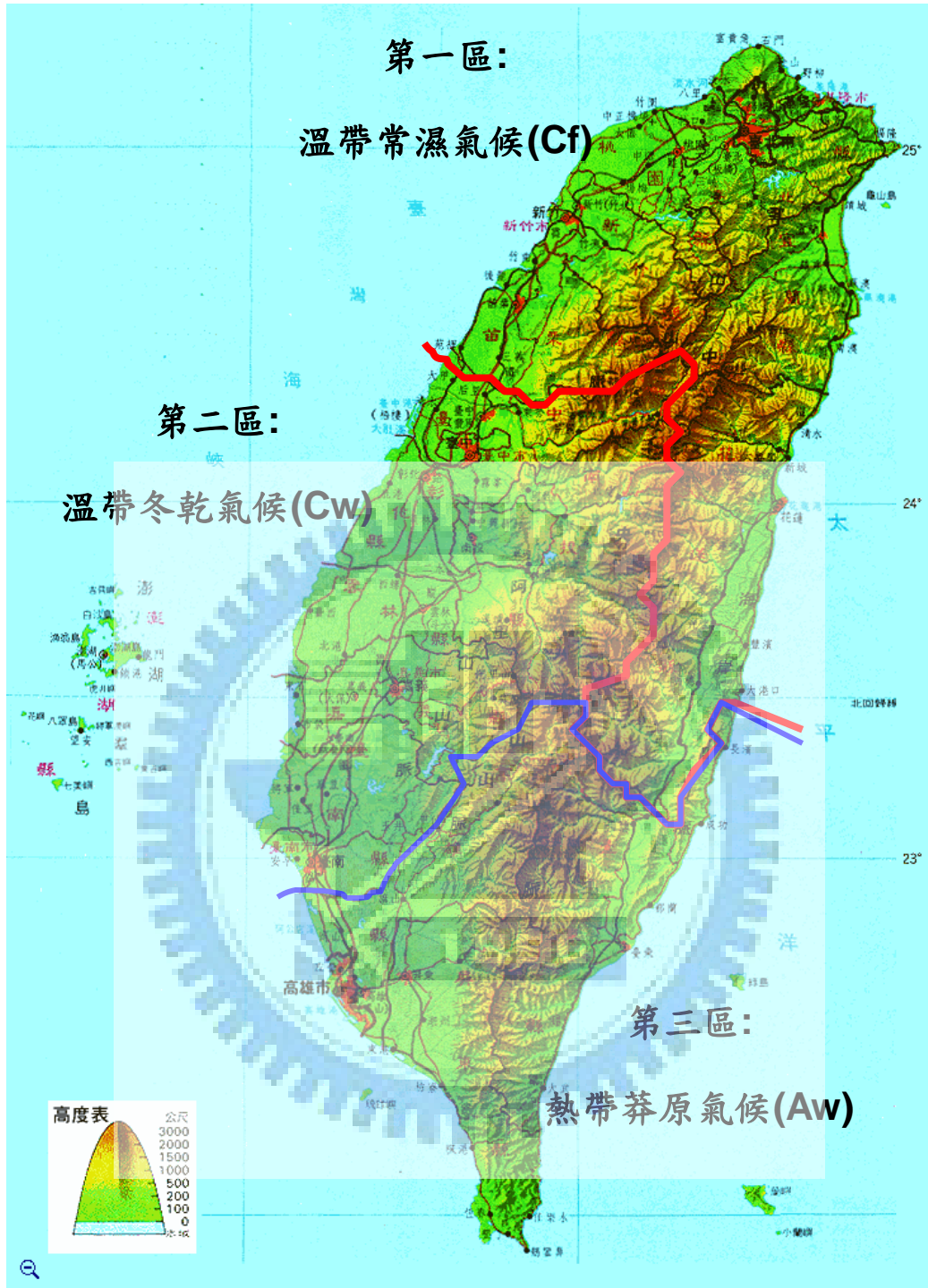


圖 3.1 台灣能源作物分區圖(底圖摘自台灣大學地質資訊系網站，97 年)

表 3.1 柯本氣候分類表

符號	主氣候型	符號	副氣候型	說明	註解
A	熱帶濕潤氣候	最冷月均溫在 18°C 以上			
		Af	熱帶雨林氣候	最乾月月雨量 $\geq 60\text{mm}$	f:各月均濕潤
		Am	熱帶季風氣候	$100-r/25 \leq \text{最乾月月雨量} \leq 60\text{mm}$	m:季風
		Aw	熱帶莽原氣候	最乾月月雨量 $\leq 60\text{mm}$ ，且最乾月月雨量 $\leq 100-r/25$	w:冬季乾燥
B	乾燥氣候	夏雨區: $r < 20(t+14)$ 冬雨區: $r < 20t$ 年雨區: $r < 20(t+7)$			
		BW	沙漠氣候	夏雨區: $10(t+14) < r < 20(t+14)$ 冬雨區: $10t < r < 20t$ 年雨區: $10(t+7) < r < 20(t+7)$	W:沙漠
		BS	草原氣候	夏雨區: $r < 10(t+14)$ 冬雨區: $r < 10t$ 年雨區: $r < 10(t+7)$	S:草原
C	溫帶濕潤氣候	最暖月均溫 $> 10^\circ\text{C}$ ， $18^\circ\text{C} > \text{最冷月均溫}$ 在 $> -3^\circ\text{C}$			
		Cs	溫帶夏乾氣候	冬雨區:冬雨夏乾	s:夏季乾燥
		Cw	溫帶冬乾氣候	夏雨區:夏雨冬乾	w:冬季乾燥
		Cf	溫帶常濕氣候	年雨區:各月有雨	
D	寒帶濕潤氣候	最暖月均溫 $> 10^\circ\text{C}$ ，最冷月均溫在 $< -3^\circ\text{C}$			
		Dw	寒帶冬乾氣候	夏雨區:夏雨冬乾	
		Df	寒帶常濕氣候	年雨區:各月有雨	
E	極地氣候，	最暖月均溫 $< 10^\circ\text{C}$ ，最冷月均溫 $< 0^\circ\text{C}$ ，			
		ET	苔原氣候	$10^\circ\text{C} > \text{最暖月均溫} > 0^\circ\text{C}$ ，	T:苔原
		EF	冰原氣候	$0^\circ\text{C} > \text{最暖月均溫}$	F:冰凍
G	山地氣候				G:山地
H	高原氣候			標高 $> 3000\text{M}$ 的高原	H:高原

附註：t 為年均溫，r 為年雨量

資料來源：(丘，92 年)

## 第四章 能源作物之評選

全世界的能源作物種類繁多，這些能源作物在台灣的環境是否適合栽種？能源作物本身特性是否具競爭力？則需要進一步挑選。因此，本研究依據適栽地區「環境因子」來討論能源作物在台灣適不適合栽種，且以適栽作物「特性因子」來分析能源作物之競爭力，作為本研究篩選能源作物的指標，建立一個生質能源作物的評選方法，以下詳細說明之。

### 4.1 能源作物簡介

能源作物是一種以永續生產方式的再生能源，將日照對能源作物所行之光合作用，藉由能源作物的成長而轉化成能源作物的能量。目前全球的能源作物分類，大致上分為油料作物、酒精作物、柴薪作物及藻類作物等四大類(林，96年)，由於柴薪作物及藻類作物目前尚屬研發階段，本研究因而針對可大量生產之能源作物為研究標的，主要包括油料作物及酒精作物。

油料作物，例如大豆係經由植物中所含之豐富油脂，榨取其中油料，經過一連串轉酯化方法(Transesterification)所生產的稱為生質柴油(Biodiesel)，對現有柴油引擎的適合性而言，是品質優良的化石柴油替代品，並可有效改善柴油車輛引擎在使用中所產生的廢氣品質（USEPA，2002）。而酒精作物，例如甘蔗主要透過發酵過程產生酒精，應用上以燃料型態直接使用或與汽油混合一定比例後，提供交通工具使用。

農作物的生長好壞與作物品種及栽種作物的環境有關，能源作物的生長特性除了與作物品種及環境有關之外尚有其他生長的特點，是它具備替代能源的優勢。在生長能力方面，例如生長快、單位面積生產力高、生產力高、生育期間短；在適應能力方面，例如環境適應性廣、容易栽培；在品質方面，例如具有高品質原料與轉化能源效率高；在其他方面，例如生

產成本低，搬運容易等特點。依據這些原則，目前國際上常用來做為生質柴油的作物，以高油分含量的植物為主，例如以大豆、向日葵、油菜、胡麻、花生、棉花、亞麻、蓖麻、橄欖、油棕、椰子等。常用來做為生質酒精的作物以高糖質及高澱粉含量的植物為主，例如甘蔗、甜高粱、玉米及甘藷。另外纖維作物亦可以做為生質酒精的原料，以野生芒草、狼尾草及柳枝稷為主。

## 4.2 台灣的主要能源作物

### 生質柴油

國際上常見之生質柴油作物，由於氣候及地理環境之差異，不盡然適合台灣。例如，棉花適合栽種在溫帶地區(盧，83年)，由於台灣平地溫度高、降雨多、颱風常於6~9月侵襲，因此不適合棉花栽培；亞麻、蓖麻、橄欖、油棕、椰子等則因屬於熱帶作物(蔡，83年)，較不適合台灣亞熱帶環境作為生質柴油作物。因此較適合在台灣栽種的油料作物有大豆、向日葵、油菜、胡麻及花生。以下針對五種適合台灣環境之生質柴油作物，進一步說明。

1. 大豆 (Soybean)：台灣的大豆品種在南部一年可栽培三作，北部亦可種植二作，其生長發育之適栽溫度為 20~30°C。大豆生育日數約 90~120 天，每公頃產量可達 3,600 公斤，油份含量 17%~24% 為台灣重要食用油來源。
2. 油菜 (Rapeseed)：台灣油菜年生產面積曾高達 27,000 餘公噸，後因菜籽油中含有高量芥酸，對人體及動物有不良影響，油價大跌，農民失去種植興趣，政府考量國民健康(林，96年)，暫不推廣油用油菜之栽培，目前田間常見的油菜，主要用為綠肥作物，且兼具觀賞功能。



3. 花生 (Peanut): 花生生育日數約 140~170 天, 生育期間需要長期的高溫, 充分的日照以及適當的降雨量。在適溫下播種 4~5 天即發芽, 生育期間溫度若在 25~30°C 之間, 則生育極旺盛, 高溫多日照可使含油量增高。
4. 向日葵 (Sunflower): 油用向日葵之油脂產量, 比大豆高出二倍以上。在台灣, 向日葵全年皆可生長, 由於向日葵大雨及大風易產生伏倒而造成農業損害, 因此每年 6~9 月颱風多雨季節避開為宜。
5. 胡麻 (Flax): 胡麻性喜溫暖, 一般適當的生長溫度為 24~32°C。胡麻為一需水性較低的耐旱作物, 但適當的灌溉可以大幅提高產量。一般以灌、排水良好且富含有機質的中性或微酸性的砂質土或砂質壤土為宜。

### 生質酒精

常用來做為生質酒精 (Ethanol) 的作物, 主要有糖料作物、澱粉作物及纖維作物, 糖料作物則主要以甘蔗、甜高粱為大宗, 澱粉作物主要為玉米及甘藷, 在纖維作物所採用之野生芒草、狼尾草及柳枝稷, 則因含水量較高, 尚待開發中 (古, 97 年)。因此以下針對四種適合台灣環境之生質酒精作物, 進一步說明。

1. 甘蔗 (Saccharum officinarum): 甘蔗為目前世界上用於生產生物酒精的最主要作物, 在台灣甘蔗的生長期約 12 個月 (宿根栽培) 至 18 個月 (一般栽培)。
2. 甜高粱 (Sweet sorghum): 其優點為: (1) 栽培容易, 可用種子繁殖, (2) 需水量低, 水分利用效率高, (3) 生長期短 (4 個月以內), 單位時間產量高, 適合現有栽培體系, 適用機械播種、管理及採收, (4) 可宿根栽培。但其缺點為: (1) 播種後初期需雜草管理, (2) 產物體積較龐大, 儲存及產製過程需較大空間, (3) 在農村景觀方面較不具美化特色。

3. 玉米(*Zea mays*): 玉米的澱粉含量高而且玉米的種植是台灣農民所熟悉的作物，唯玉米亦為人類及動物之糧食，亦因而有可能影響糧食的供應與價格。

4. 甘藷(*Ipomoea batatas*): 全年均可供苗，每公頃可栽培 3 萬苗，與甘蔗相比較，甘藷生育期短，單位時間產量高，值得積極開發。

台灣能源作物由於其產量、含油(糖)率及生長期長短不一，故若只依據單一作物期的產量評價優劣，並不是很適當，因而本研究採用先前文獻(馬及游，96 年; 左及蘇，96 年)所建議的各種能源作物單位時間轉換潛力，如此可較合理評價能源作物產出能源潛力的優劣。由表 4.1 中所示，在第一區每公頃生質柴油產量的順序為胡麻、花生、向日葵、油菜及大豆；但由於花生的生長期約 5 個月，而向日葵約為 3 個月，故就單位時間生質柴油轉換潛力，向日葵以 388 公升優於花生的 294 公升，因此生質柴油單位時間轉換潛力之順序則分別是胡麻、向日葵、花生、油菜及大豆。其次，本表中第一區單位時間生質酒精轉換潛力中，每公秉生質酒精所需之甘蔗原料為 14.3 噸，所需之甘藷原料為 5.71 噸(林等，95 年)；甜高粱出汁率達 65% 左右；玉米中澱粉占 62%~70%(姚等，97 年)。在第一區之生質酒精轉換潛力之順序為玉米、甘蔗、甜高粱及甘藷。

在第二區每公頃生質柴油單位時間轉換潛力則依表 4.2 所計算的結果，由於第二區花生在單位面積作物產量及單位面積能源產量均較第一區為優，故其單位時間轉換潛力順序分別是胡麻、花生、向日葵、油菜及大豆。由於第二區甘藷在單位面積作物產量及單位面積能源產量均較第一區為優，故在第二區之生質酒精轉換潛力之順序為玉米、甘蔗、甘藷及甜高粱。在第三區每公頃生質柴油單位時間轉換潛力依表 4.3 所計算的結果顯示，由於第三區向日葵在單位面積能源產量已與胡麻相當，且生長期較胡麻為短；另外第三區花生在單位面積作物產量及單位面積能源產量均較第一區為優，故順序分別是向日葵、花生、胡麻、油菜及大豆。由於第三區

甘藷在單位面積能源產量均較第一區為優，故在第三區之生質酒精轉換潛力之順序為玉米、甘蔗、甘藷及甜高粱。

### 4.3 能源作物之評選因子

本研究的能源作物評選主要分為二個階段，第一階段對台灣能源作物的三大分區中，各適栽地區的環境因子評選，其目的主要是初步篩除不適合本區域環境之能源作物，第二階段對能源作物之特性因子進行評選，主要對能源作物本身具有的特性條件評選其優劣程度；適栽作物特性評選是將前項適栽地區環境評選通過之能源作物，進一步評估該作物本身特性之優劣。以下分述能源作物二階段評選所考量的因子。下一節再說明如何依所納入的因子進行評選。

#### 4.3.1 第一階段評選因子-適栽地區環境因子

第一階段以適栽地區環境因子的評選，影響適栽作物的環境因子不少，例如土壤因子（坡度、表土質地、有效深度、表土酸鹼度及排水情形）及栽種經濟效益、降雨量、氣溫、氣壓、日照天數、蟲害、天然災害、污染等。這些能源作物環境因子有的是持續發生因子，例如土壤因子、降雨量、氣溫、日照天數、蟲害；有的是偶然發生因子，例如天然災害（颱風、豪雨、地震等）、污染產生；為了減少能源作物在評估環境因子的複雜性，本研究以一般正常生長狀態來評估，排除偶發事件對能源作物之影響。此外，在持續發生的因子中，蟲害因子雖然是能源作物之天敵，由於各種作物所面臨的蟲害，均有適當的除蟲劑可解決，蟲害因子就不另做討論，故本研究考量之環境因子分述如下：

1. 土壤因子及栽種經濟效益：聯合國糧農組織對土壤評估條件（林等，83年）乃是分為坡度、有效深度、排水、地質、及酸鹼度等5項來評估。其中將農作物之適栽土壤分為四個等級（I~IV），本

研究參考前述文獻，針對能源作物整理適栽土壤性質，整理結果如附錄 A 所列之台灣能源作物適栽土壤等級，另外亦參考其中適栽土壤之定義，分區整理國內有關各縣市之適栽土壤面積之統計，如附錄 B 所列。

2. 降雨量：台灣降雨量會隨著季節而變化，本研究以 1971~2000 年 30 年間，台灣中央氣象局之各地區氣象觀測站資料為依據，以月平均值來代表該月降雨量，主要依各地區降雨量最大月平均及最小月平均值評估是否適合作物之生長條件。
3. 氣溫：台灣位處亞熱帶氣候，氣溫依季節而有變化，本研究以 1971~2000 年 30 年間，台灣中央氣象局之各地區氣象觀測站資料為依據，以月平均值來代表該月氣溫，可以將某些特殊熱浪或寒流的氣溫，適度的以平均值降低其氣溫之變異性，亦對本研究之評估減少複雜性，依本地區氣溫最高及最低之月平均值是否合適待評估作物之生長條件。
4. 日照天數：本研究以 1971~2000 年 30 年間，台灣中央氣象局之各地區氣象觀測站資料為依據，依本區全年日照天數，是否合適待評估作物之生長條件。

以上四個環境因子將於 4.4 節中說明如何進行評選。

### 4.3.2 第二階段評選因子 - 適栽作物特性因子

第二階段是以適栽作物特性因子評選，影響適栽作物特性因子主要包括產量、收穫數、產油(糖)率、生產複雜度等；其中能源作物之生產複雜度，雖直接與能源作物之特性有關，但由於生產複雜度量化不易，而且假設生產過程中越複雜，其生產成本相對提高，其能源作物競爭力相對降低，較不利於該作物之效益，因此「生產複雜度」的因子已經可以充份反

應在能源的價格中，因此不列在適栽作物特性因子中討論，故本研究考量之作物特性因子主要有如下三個：

1. 產量：以每一種能源作物每公頃之平均產量。
2. 收穫數：以每一種能源作物一年之收穫次數。
3. 產油(糖)率：以每一種能源作物之產油(糖)量。

以上三個特性因子將於下一節中說明如何進行評選。

## 4.4 能源作物之評選方法

能源作物評選是決定台灣能源作物種類頗重要的一個步驟，本研究採用二階段的評選方法，第一階段依地區適栽環境因子初選，判別屬於「適栽」或「不適栽」，由於適栽環境因子具有缺一不可的特性，因此適栽地區環境初選以「絕對篩選」之方式來篩選。而第二階段適栽作物特性評選中，由於能源作物特性因子具有可量化的特性，故第二階段能源作物特性因子採「相對篩選」的方式來篩選。以下分別詳細說明之。

### 4.4.1 適栽地區環境初選

能源作物之適栽地區環境因子，如 4.3 節所討論，有土壤因子及栽種經濟效益、氣溫、日照天數、降雨量等因子。舉例而言，若在甲地區種植能源作物 A，只要有其中一個環境因子有不適栽條件，亦即栽種環境因子，欠缺能源作物 A 生長的條件，能源作物 A 將被排除在適栽作物之列，而未被篩除之能源作物，則表示這些能源作物適合在這個區域生長，為初選合格之能源作物。以下說明適栽地區環境初選之評選方法。

台灣能源作物適栽土壤等級及其定義如附錄 A，是參考聯合國糧農組織所建議的土地評估條件，將土壤因子分為坡度、有效深度、排水、地質及酸鹼度。每一種能源作物對土壤因子之分級均不相同，故本研究整理列

出每一種油料作物在不同土壤的分級標準，附錄 A 所列出之為台灣適栽土壤等級，共分為四個等級，是以能源作物對土壤的適栽程度不同來作區分，I 級土壤為栽種條件較佳之土壤，II 級次之，依此類推，IV 級的土壤條件較不適宜。

本研究主要以廢耕地栽種能源作物，因此以農民的角度而言，究竟栽種能源作物之利潤較高？或者不栽種能源作物而僅領取政府補助較有利？是評價土壤適栽與否的重要經濟誘因，不同條件耕地所收穫之能源作物，將獲得不同的經濟利益，本研究因而進一步以栽種經濟效益分析適栽性。以目前政府對廢耕地利用之政策，若採行栽種能源作物之耕地，除了依市價所得之經濟利益，政府另外獎勵補助款 6 萬元/公頃，含環境給付 4.5 萬元/公頃及資材與生產作業費 1.5 萬元/公頃；而若採取休耕措施之耕地，將補助其休耕補助 4.5 萬元/公頃（農委會農糧署，97 年）。

能源作物土壤適栽評估方案中，方案 1 為採行栽種能源作物方案後，各種能源作物之收益，以大豆為例，在第一區栽種之單位面積產量為 3,200 公斤/公頃，大豆之單價為 15 元/公斤，政府獎勵補助款 6 萬元/公頃，因此大豆以方案 1 所獲金額為  $3,200 \text{ 公斤/公頃} \times 15 \text{ 元/公斤} + 60,000 \text{ 元/公頃} = 108,000 \text{ 元/公頃}$ 。方案 2 為採取休耕措施，不栽種能源作物而僅領取政府之休耕補助款，以大豆為例，在第一區採取休耕措施每期補助其休耕補助 4.5 萬元/公頃，一年以 2 期作計算，因此大豆以方案 2 所獲金額為  $45,000 \text{ 元/公頃} \times 2 = 90,000 \text{ 元/公頃}$ 。由表 4.4 中結果得知，方案 1-方案 2 之差值，以第一區栽種大豆為 18,000 元/公頃，其他地區及其他作物以相同計算方式可得到如表 4.4~表 4.6 之結果。若在第一區及第三區種植油菜以方案 1 所得之利益略少於不做任何耕種領取休耕補助的方案 2。因此油菜在第一區及第三區以自給自足方式均無法優於政府補助，故此二區域並不適合栽種油菜。然而在第二區中，依方案 1 所得之利益，略高於依方案 2 不做任何耕種領取休耕補助所得之經濟利益，但因為兩者相差有限，一年中方案

1 所得之利益僅較方案 2 多 780 元/公頃，因此栽種的經濟誘因可能仍不足。

另外，其他能源作物在各分區之栽種經濟效益評選結果，在第一區中，油料作物中以胡麻的差值最大，每年可多收益 22.6 萬元/公頃；而最差的是油菜，差值為-360 元/公頃。在酒精作物中以甘蔗差值最大，每年可多收益 17.8 萬元/公頃；而最差的是甜高粱，差值為 3.7 萬元/公頃。在第二區中，油料作物以胡麻的差值最大，每年可多收益 28.5 萬元/公頃；而最差的是油菜，差值為 780 元/公頃。在酒精作物中以甘蔗差值最大，每年可收益 18.8 萬元/公頃；而最差的是甜高粱，差值為 3.7 萬元/公頃。在第三區中，油料作物以胡麻的差值最大，每年可多收益 21.2 萬元/公頃；而最差的是油菜，差值為-360 元/公頃。在酒精作物中以甘蔗差值最大，每年可收益 20.4 萬元/公頃；而最差的是甜高粱，差值為 1.9 萬元/公頃。故依栽種經濟效益分析的結果，油菜在全台灣不適栽，其餘能源作物均適合栽種。

## 氣溫

本研究依中央氣象局 1971~2000 年共 30 年之計資料，以月份為單位，每個月氣溫平均值與其他年份同一個月來相比較，分述如下，

第一區月平均溫度一般在 15.1°C 至 29.2°C 間，月平均最高溫為 34.1°C，月平均最低溫為 12.3°C。栽種大豆之最適溫度為 21~25°C，若 <10°C 或 >40°C 時則不適合大豆生長，故第一區符合栽種大豆之要求。栽種油菜之最適溫度為 20~25°C，若 <5°C 或 >35°C 時則不適合油菜生長，故第一區符合栽種油菜之要求。栽種花生之最適溫度為 20~27°C，若 <12°C 或 >35°C 時則不適合花生生長，故第一區符合栽種花生之要求。栽種向日葵之最適溫度為 21~24°C，若 <10°C 或 >35°C 時則不適合向日葵生長，故第一區符合栽種向日葵之要求。栽種胡麻之最適溫度為 24~32°C，若 <10°C 或 >44°C 時則不適合胡麻生長，故第一區符合栽種胡麻之要求，如表 4.7。栽種甘蔗之最

適溫度為 $>20^{\circ}\text{C}$ ，若 $<17^{\circ}\text{C}$ 時則不適合甘蔗生長，故第一區除了淡水測站因位於迎風面，在1月份及2月份較低溫，大體上均符合栽種甘蔗之要求。栽種甜高粱之最適溫度為 $21\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，若 $<20^{\circ}\text{C}$ 或 $>40^{\circ}\text{C}$ 時則不適合甜高粱生長，故第一區亦尚可符合栽種甜高粱之要求。栽種玉米之最適溫度為 $25\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，若 $<6^{\circ}\text{C}$ 或 $>35^{\circ}\text{C}$ 時則不適合玉米生長，故第一區符合栽種玉米之要求。栽種甘藷之最適溫度為 $22\sim 38^{\circ}\text{C}$ ，若 $<20^{\circ}\text{C}$ 時則不適合甘藷生長，故第一區符合栽種甘藷之要求。

第二區月平均溫度一般在 $15.8^{\circ}\text{C}$ 至 $29.0^{\circ}\text{C}$ 間，月平均最高溫為 $33.0^{\circ}\text{C}$ ，月平均最低溫為 $12.1^{\circ}\text{C}$ 。故第二區除了嘉義測站因地勢平坦，冬季受冷空氣影響，在1月份較低溫，依上述作物生長條件，第二區符合栽種上述作物之要求。

第三區月平均溫度一般在 $18.8^{\circ}\text{C}$ 至 $28.9^{\circ}\text{C}$ 間，月平均最高溫為 $32.9^{\circ}\text{C}$ ，月平均最低溫為 $15.1^{\circ}\text{C}$ ，依上述作物生長條件，第三區除了大武測站因地形易於7月份出現較高溫，大體上均符合栽種上述作物之要求。各區評選結果列於表4.7至4.12，依氣溫因子為標準，各種能源作物均適合在台灣三個區栽種。

### 日照天數

本研究依中央氣象局1971~2000年共30年之統計資料，以月份為單位，每個月日照天數平均值與其他年份同一個月來相比較，各區資料分述如下，

第一區月平均日照最高天數為25日，月平均日照最低天數為9日，年平均日照天數為206.7日。栽種大豆之最適日照天數為70~120日，以大豆一年2獲計算，符合栽種大豆之要求。其他作物油菜、花生、向日葵、胡麻、甘蔗、甜高粱、玉米及甘藷均為喜光性作物，均適合在第一區栽種。



第二區月平均日照最高天數為 28 日，月平均日照最低天數為 14 日，年平均日照天數為 271 日。栽種大豆之最適日照天數為 70~120 日，符合栽種大豆之要求。其他作物油菜、花生、向日葵、胡麻、甘蔗、甜高粱、玉米及甘藷均為喜光性作物，均適合在第二區栽種。

第三區月平均日照最高天數為 28 日，月平均日照最低天數為 14 日，年平均日照天數為 273 日。栽種大豆之最適日照天數為 70~120 日，符合栽種大豆之要求。其他作物油菜、花生、向日葵、胡麻、甘蔗、甜高粱、玉米及甘藷均為喜光性作物，均適合在第三區栽種。評選結果：依日照天數因子為標準，各種能源作物均適合在台灣三個區栽種如表 4.7~表 4.12。

## 降雨

本研究依中央氣象局 1971~2000 年共 30 年之統計資料，以月份為單位，每個月降雨量平均值與其他年份同一個月來相比較，由統計資料顯示，

第一區月平均降雨量最高 442mm，最低 44.5mm，平均年雨量 2,200mm。栽種大豆之最適降雨量為 450~825mm，符合栽種大豆之要求。油菜為適應性強之作物適合栽種。栽種花生之最適降雨量為 >1,500mm，符合栽種花生之要求。栽種向日葵之最適降雨量為 >350mm，符合栽種向日葵之要求。栽種胡麻之最適降雨量為 1,200~2,500mm，符合栽種胡麻之要求。栽種甘蔗之最適降雨量為 1,500~2,000mm，符合栽種甘蔗之要求。栽種甜高粱之最適降雨量為 >855mm，符合栽種甜高粱之要求。栽種玉米之最適降雨量為 270~350mm，符合栽種玉米之要求。栽種甘藷之最適降雨量為 >470mm，亦符合栽種甘藷之要求。

第二區月平均降雨量最高 442mm，最低 9.9mm，平均年雨量 1,726mm，依上述作物生長條件，第二區符合栽種上述作物之要求。第三區月平均降雨量最高 475mm，最低 11.5mm，平均年雨量 1,785mm，依上述作物生長條件，第三區符合栽種上述作物之要求。評選結果：依降雨因

子為標準，各種能源作物均適合在台灣三個區栽種如表 4.7~表 4.12。

表 4.7 至 4.12 綜合整理上述評選分析與其他數據，結果與栽種經濟效益分析類似，油菜在全台灣三個區不適栽，其餘能源作物均適合栽種。

#### 4.4.2 適栽作物特性評選

能源作物在各分區適栽環境初選後，則進行第二階段依能源作物特性評選。適栽作物特性因子主要以產量、收穫數、產油(糖)率等三個因子評選，本研究將三個因子的原始數據相乘，即產量 x 收穫數 x 產油/糖率；比較其數值較為大者為優，各分區選擇其中較優前三種作物，列為本研究評估效益之能源作物，將油料作物及酒精作物分別計算如表 4.13 及表 4.14。

適栽作物特性評選結果：在油料作物方面，第一區中胡麻表現最佳，其次為花生、向日葵及大豆；第二區中花生表現最佳，其次為胡麻、向日葵及大豆；第三區中由於大豆一年可收穫 3 次，故較胡麻為優，本區花生表現最佳，其次為向日葵、大豆及胡麻。在酒精作物方面，第一區中由於甘蔗在台灣生長期約 18 個月，相對甘藷為一年二獲，因此在表 4.14 中甘藷表現最佳，其次為甘蔗、甜高粱及玉米；第二區中甘蔗表現最佳，其次為甘藷、玉米及甜高粱；第三區中甘藷表現最佳，其次為甘蔗、玉米及甜高粱。

### 4.5 能源作物之評選結果

由以上本研究之分析結果，在適栽地區環境初選中，土壤因子及栽種經濟效益對環境因子影響較大，油料作物中的油菜在台灣三個分區中均不適合栽種或栽種的經濟誘因不大；以中央氣象局 30 年的統計資料評估氣候因子，台灣在氣溫、日照及雨量上，均可符合油料作物之生長要求。另外酒精作物中，在土壤因子及栽種經濟效益的表現，相對油料作物要佳，土壤條件均適合酒精作物栽種；而就氣候因子而言，在氣溫、日照及

雨量上，亦均可符合酒精作物之生長要求。

在第二階段適栽作物「特性因子」評選中，依能源作物在各區栽種的特性評估，篩除該分區中能源作物相對特性表現較差者，以相對較優良之作物成為本研究選出之能源作物。油料作物在第一區選出胡麻、花生、向日葵；在第二區選出花生、胡麻、向日葵；在第三區選出花生、向日葵、大豆。另外，酒精作物在第一區選出甘藷、甘蔗、甜高粱；在第二區選出甘蔗、甘藷、玉米作為本區的優選能源作物；在第三區選出甘藷、甘蔗、玉米。



表4.1 第一區單位時間能源作物轉換潛力

主要作物	含油/糖/澱粉率	能源作物產量(kg/Ha)	單位面積能源產量(L/Ha)	生長期(月)	轉換潛力(L/Ha/M)
大豆(油)	17%~24%	3,200	853	4	213
油菜(油)	35%~40%	2,600	1,156	4	289
花生(油)	48%~54%	2,451	1,471	5	294
向日葵(油)	48%~55%	1,906	1,165	3	388
胡麻(油)	46%~57%	2,560	1,621	4	405
甘蔗(糖)	11%~16%	104,000	7,273	18	404
甜高粱(糖)	65%	4,800	1,595	4	399
玉米(澱粉)	62%~70%	8,457	3,026	5	605
甘藷(澱粉)	66%~70%	43,350	1,860	5	372

表4.2 第二區單位時間能源作物轉換潛力

主要作物	含油/糖/澱粉率	能源作物產量(kg/Ha)	單位面積能源產量(L/Ha)	生長期(月)	轉換潛力(L/Ha/M)
大豆(油)	17%~24%	2,600	693	4	173
油菜(油)	35%~40%	2,700	1,200	4	300
花生(油)	48%~54%	3,617	2,170	5	434
向日葵(油)	48%~55%	2,090	1,277	3	426
胡麻(油)	46%~57%	3,151	1,996	4	499
甘蔗(糖)	11%~16%	109,000	7,622	18	423
甜高粱(糖)	65%	4,800	1,595	4	399
玉米(澱粉)	62%~70%	11,438	4,092	5	818
甘藷(澱粉)	66%~70%	49,200	2,111	5	422

表4.3 第三區單位時間能源作物轉換潛力

主要作物	含油/糖/澱粉率	能源作物產量(kg/Ha)	單位面積能源產量(L/Ha)	生長期(月)	轉換潛力(L/Ha/M)
大豆(油)	17%~24%	3,600	960	4	240
油菜(油)	35%~40%	2,600	1,156	4	289
花生(油)	48%~54%	3,900	2,340	5	468
向日葵(油)	48%~55%	2,500	1,528	3	509
胡麻(油)	46%~57%	2,424	1,535	4	384
甘蔗(糖)	11%~16%	117,000	8,182	18	455
甜高粱(糖)	65%	3,510	1,166	4	292
玉米(澱粉)	62%~70%	10,000	3,578	5	716
甘藷(澱粉)	66%~70%	48,660	2,088	5	418

表4.4 第一區能源作物土壤適栽評估方案

主要作物	產量(kg/Ha)	作物單價(\$/kg)	方案1	方案2	方案1-2
大豆	3,200	15	108,000	90,000	18,000
油菜	2,600	11	89,640	90,000	-360
花生	2,451	40	157,060	90,000	67,060
向日葵	1,906	38	133,000	90,000	43,000
胡麻	2,560	100	316,000	90,000	226,000
甘蔗	104,000	20	268,000	90,000	178,000
甜高粱	4,800	14	127,200	90,000	37,200
玉米	8,457	15	187,447	90,000	97,447
甘藷	43,350	12	192,228	90,000	102,228

表4.5 第二區能源作物土壤適栽評估方案

主要作物	產量(kg/Ha)	作物單價(\$/kg)	方案1	方案2	方案1-2
大豆	2,600	15	99,000	90,000	9,000
油菜	2,700	11	90,780	90,000	780
花生	3,617	40	203,233	90,000	113,233
向日葵	2,090	38	140,047	90,000	50,047
胡麻	3,151	100	375,100	90,000	285,100
甘蔗	109,000	20	278,000	90,000	188,000
甜高粱	4,800	14	127,200	90,000	37,200
玉米	11,438	15	232,371	90,000	142,371
甘藷	49,200	12	210,072	90,000	120,072

表4.6 第三區能源作物土壤適栽評估方案

主要作物	產量(kg/Ha)	作物單價(\$/kg)	方案1	方案2	方案1-2
大豆	3,600	15	114,000	90,000	24,000
油菜	2,600	11	89,640	90,000	-360
花生	3,900	40	214,440	90,000	124,440
向日葵	2,500	38	155,750	90,000	65,750
胡麻	2,424	100	302,400	90,000	212,400
甘蔗	117,000	20	294,000	90,000	204,000
甜高粱	3,510	14	109,140	90,000	19,140
玉米	10,000	15	210,700	90,000	120,700
甘藷	48,660	12	213,878	90,000	123,878

表4.7 第一區油料作物適栽性評選表

能源作物	大豆	油菜	花生	向日葵	胡麻
<b>土壤適栽方案評估結果 (千元/公頃)</b>	18	-0.36	67	43	226
本區適種評選	O	X	O	O	O
<b>氣溫(°C)<sup>1</sup></b>					
月最高值(34.1)	(21~25)	(20~25)	(25~27)	(21~24)	(24~32)
月最低值(12.3)	(<10,>40)	(<5,>35)	(<12,>35)	(<10,>35)	(<10,>44)
本區適種評選	O	O	O	O	O
<b>日照天數(日)<sup>2</sup></b>					
年平均値(206.7)	(>70)	(*)	(*)	(*)	(*)
最大日照日數(25)					
最小日照日數(9)					
本區適種評選	O	O	O	O	O
<b>降雨量(mm)<sup>3</sup></b>					
年雨量(2200.3)	(450~825)	(**)	(>1500)	(>350)	(1200~2500)
月最高値(442.3)					
月最低値(44.5)					
本區適種評選	O	O	O	O	O

<sup>1</sup>. (最適溫度)/(不適溫度) <sup>2</sup>. (最適日照),\*: 喜光性作物 <sup>3</sup>. (最適降雨) \*\*: 適應性強作物

表4.8 第二區油料作物適栽性評選表

能源作物	大豆	油菜	花生	向日葵	胡麻
<b>土壤適栽方案評估結果 (千元/公頃)</b>	9	0.78	113	50	285
本區適種評選	O	X	O	O	O
<b>氣溫(°C)<sup>1</sup></b>					
月最高値(33)	(21~25)	(20~25)	(25~27)	(21~24)	(24~32)
月最低値(12.1)	(<10,>40)	(<5,>35)	(<12,>35)	(<10,>35)	(<10,>44)
本區適種評選	O	O	O	O	O
<b>日照天數(日)<sup>2</sup></b>					
年平均値(271)	(>70)	(*)	(*)	(*)	(*)
最大日照日數(28)					
最小日照日數(14)					
本區適種評選	O	O	O	O	O
<b>降雨量(mm)<sup>3</sup></b>					
年雨量(1726.1)	(450~825)	(**)	(>1500)	(>350)	(1200~2500)
月最高値(422.1)					
月最低値(9.9)					
本區適種評選	O	O	O	O	O

<sup>1</sup>. (最適溫度)/(不適溫度) <sup>2</sup>. (最適日照),\*: 喜光性作物 <sup>3</sup>. (最適降雨) \*\*: 適應性強作物

表4.9第三區油料作物適栽性評選表

能源作物	大豆	油菜	花生	向日葵	胡麻
<b>土壤適栽方案評估結果 (千元/公頃)</b>	24	-0.36	124	66	212
本區適種評選	O	X	O	O	O
<b>氣溫(°C)<sup>1</sup></b>					
月最高值(28.9)	(21~25)	(20~25)	(25~27)	(21~24)	(24~32)
月最低值(18.8)	(<10,>40)	(<5,>35)	(<12,>35)	(<10,>35)	(<10,>44)
本區適種評選	O	O	O	O	O
<b>日照天數(日)<sup>2</sup></b>					
年平均値(273)	(>70)	(*)	(*)	(*)	(*)
最大日照日數(28)					
最小日照日數(14)					
本區適種評選	O	O	O	O	O
<b>降雨量(mm)<sup>3</sup></b>					
年雨量(1785)	(450~825)	(**)	(>1500)	(>350)	(1200~2500)
月最高值(475.2)					
月最低值(11.5)					
本區適種評選	O	O	O	O	O

<sup>1</sup>. (最適溫度)/(不適溫度) <sup>2</sup>. (最適日照),\*: 喜光性作物 <sup>3</sup>. (最適降雨) \*\*: 適應性強作物

表4.10 第一區酒精作物適栽性評選表

能源作物	甘蔗	甜高粱	玉米	甘藷
<b>土壤適栽方案評估結果 (千元/公頃)</b>	178	37	97	102
本區適種評選	O	O	O	O
<b>氣溫(°C)<sup>1</sup></b>				
月最高值(34.1)	(>20)	(21~35)	(25~35)	(22~38)
月最低值(12.3)	(<17)	(<20,>40)	(<6,>35)	(<20 )
本區適種評選	O	O	O	O
<b>日照天數(日)<sup>2</sup></b>				
年平均値(206.7)	(*)	(*)	(*)	(*)
最大日照日數(25)				
最小日照日數(9)				
本區適種評選	O	O	O	O
<b>降雨量(mm)<sup>3</sup></b>				
年雨量(2200.3)	(1500~2000)	(>855)	(270~350)	(>470)
月最高值(442.3)				
月最低值(44.5)				
本區適種評選	O	O	O	O

<sup>1</sup>. (最適溫度)/(不適溫度) <sup>2</sup>. (最適日照),\*: 喜光性作物 <sup>3</sup>. (最適降雨) \*\*: 適應性強作物

表4.11 第二區酒精作物適栽性評選表

能源作物	甘蔗	甜高粱	玉米	甘藷
<b>土壤適栽方案評估結果 (千元/公頃)</b>	188	37	142	120
本區適種評選	0	0	0	0
<b>氣溫(°C)<sup>1</sup></b>				
月最高值(33)	(21~25)	(20~25)	(25~35)	(22~38)
月最低值(12.1)	(<10,>40)	(<5,>35)	(<6,>35)	(<20 )
本區適種評選	0	0	0	0
<b>日照天數(日)<sup>2</sup></b>				
年平均值(271)	(>70)	(*)	(*)	(*)
最大日照日數(28)				
最小日照日數(14)				
本區適種評選	0	0	0	0
<b>降雨量(mm)<sup>3</sup></b>				
年雨量(1726.1)	(450~825)	(**)	(270~350)	(>470)
月最高值(422.1)				
月最低值(9.9)				
本區適種評選	0	0	0	0

<sup>1</sup>.(最適溫度)/(不適溫度) <sup>2</sup>.(最適日照),\*:喜光性作物 <sup>3</sup>.(最適降雨) \*\*:適應性強作物

表4.12 第三區酒精作物適栽性評選表

能源作物	甘蔗	甜高粱	玉米	甘藷
<b>土壤適栽方案評估結果 (千元/公頃)</b>	204	19	121	123
本區適種評選	0	0	0	0
<b>氣溫(°C)<sup>1</sup></b>				
月最高值(28.9)	(21~25)	(20~25)	(25~35)	(22~38)
月最低值(18.8)	(<10,>40)	(<5,>35)	(<6,>35)	(<20 )
本區適種評選	0	0	0	0
<b>日照天數(日)<sup>2</sup></b>				
年平均值(273)	(>70)	(*)	(*)	(*)
最大日照日數(28)				
最小日照日數(14)				
本區適種評選	0	0	0	0
<b>降雨量(mm)<sup>3</sup></b>				
年雨量(1785)	(450~825)	(**)	(270~350)	(>470)
月最高值(475.2)				
月最低值(11.5)				
本區適種評選	0	0	0	0

<sup>1</sup>.(最適溫度)/(不適溫度) <sup>2</sup>.(最適日照),\*:喜光性作物 <sup>3</sup>.(最適降雨) \*\*:適應性強作物



表 4.13 油料作物特性評選表

作物種類	大豆	花生	向日葵	胡麻
第一區 產量(kg/h)	3200	2451	1906	2560
第一區 收穫數(/Y)	2	2	2	2
第一區 含油率(%)	24%	48.80%	57.93%	50.37%
第一區 合計	1,536	2,392	2,208	2,579
作物種類	大豆	花生	向日葵	胡麻
第二區 產量(kg/h)	2600	3617	2090	3151
第二區 收穫數(/Y)	2	2	2	2
第二區 含油率(%)	21%	48%	57.93%	40.14%
第二區 合計	1,092	3,472	2,421	2,530
作物種類	大豆	花生	向日葵	胡麻
第三區 產量(kg/h)	3600	3900	2500	2424
第三區 收穫數(/Y)	3	2	2	2
第三區 含油率(%)	24%	57.10%	57.93%	50.47%
第三區 合計	2,592	4,454	2,897	2,447

表 4.14 酒精作物特性評選表

作物種類	甘蔗	甜高粱	玉米	甘藷
第一區 產量(kg/h)	104,000	4,800	8,457	43,350
第一區 收穫數(/Year)	0.67	3	2	2
第一區 含糖率(%)	10.23%	18.00%	10.00%	10.00%
第一區 合計	7,128	2,592	1,691	8,670
作物種類	甘蔗	甜高粱	玉米	甘藷
第二區 產量(kg/h)	117,000	4,800	11,438	49,200
第二區 收穫數(/Year)	0.67	3	2	2
第二區 含糖率(%)	15.30%	18.00%	12.00%	10.53%
第二區 合計	11,994	2,592	2,745	10,362
作物種類	甘蔗	甜高粱	玉米	甘藷
第三區 產量(kg/h)	109,000	3,510	10,000	48,660
第三區 收穫數(/Year)	0.67	3	2	2
第三區 含糖率(%)	11.10%	18.00%	10.00%	10.53%
第三區 合計	8,106	1,895	2,000	10,248

## 第五章 能源作物效益分析、優選模式及情境分析

能源作物的推動與發展，需考慮之效益有能源自主、環境保護、活化農村和經濟性等效益。能源作物是國家能源安全中重要的項目，也是主要的綠色能源，值得投入。生質能源的技術發展與日增進，逐漸提升至以纖維素轉化成生質能源之技術，將擺脫與糧食競爭的問題。我國是一個仰賴能源進口的國家，國際上對溫室效應的環保壓力與日俱增，農業在加入WTO後所呈現的長期衰退，以上問題的解決在生質能源產業的出現後，提供了解決這些問題的方案，然而能源作物在環境、能源、經濟及社會等面向的效益如何則有待評估。本研究因而建立方法，評估分析台灣發展能源作物之各面向效益，以下第5.1~5.3節將逐一詳細說明之。

國內現有之生質能源實證模型，未能全盤考量能源作物之多面向效益及廢耕地，主要偏重經濟面的討論，本研究因而建立一個優選模式，依據前述環境、能源、經濟等三面向之效益，及設定效益作為目標式，並以廢耕地區域與利用面積大小等為限制式，以期有效分析不同條件下之優選方案及效益。另外，有鑑於國內對能源作物有各種不同的可能性與發展性，故本研究以經濟部能源局2006年全國車輛用汽、柴油用油量為依據，設定八種可能產生的油量情境，以模式分析各分區適栽的能源作物面積及產生出的效益，以供作為推動相關政策與決策時參考。第5.4~5.6節將逐一詳細說明之。

### 5.1 環境效益

能源作物的能量循環不會增加多餘的溫室效應氣體排放，相對於化石能源之溫室效應氣體對環境造成破壞要少。此外，利用能源作物生長期的長短，輪作時間可靈活運用，有利於恢復地力及避免被不當開發，保護了地面水和地下水。然而作物生產過程中多少會產生溫室氣體及農業廢棄

物，也會有使用農藥化肥形成環境污染等負面影響。

能源作物在環境保護上的效益，主要為降低因燃燒化石燃料後所排放廢氣，其中所含污染空氣的物質，包括 CO<sub>2</sub>、CO、PM、SO<sub>x</sub> 及 NO<sub>x</sub> 等，在使用生質能源後，可改善空氣品質 (USEPA, 2002)，由於其他污染物的減量影響並沒有明確的數據可供使用，故本研究針對能源作物在環境保護上的效益的分析，主要以能源作物每公頃可降低排放 eCO<sub>2</sub> 的量評估，如表 5.1 eCO<sub>2</sub> 減量效益(Eng.)所列，計算方式如下：

每公頃能源作物 eCO<sub>2</sub> 的減少量 (公噸/公頃) 為能源產量 (公升/公頃) 與每公升 eCO<sub>2</sub> 的減少量 (公噸/公升) 之乘積。根據學者之研究，每 100 公秉生質柴油及生質酒精分別可降低排放 328 及 151 公噸 eCO<sub>2</sub> 的減少量 (工研院, 94 年) (王, 95 年)，因此在油料作物 eCO<sub>2</sub> 的減少量以油料作物產量 (公升/公頃) 乘以 328 (公噸 eCO<sub>2</sub>/100 公秉)，酒精作物以產量 (公升/公頃) 乘以 151 (公噸 eCO<sub>2</sub>/100 公秉) 即可計算出每公頃能源作物 eCO<sub>2</sub> 的減少量，如表 5.1 所列。而各作物的能源產量 (公升/公頃) 主要依據表 5.2 所列數據。

## 5.2 能源效益

能源作物主要是替代部份化石燃料，在發展能源作物的評估中，每公頃的生質能源產量 (公升/公頃) 是能源效益分析的主要依據。如表 5.2 能源產量效益(Eng.)所列，計算方式如下說明：

首先參考表 4.1~表 4.3 各種能源作物之轉換潛力 (公升/公頃/月)，並依各地區對能源作物之地力係數而定，地力係數決定的方式如下說明，首先由於土壤優劣已如前述分為四個等級，且優劣程度並非等比例減少，因此本研究設定第 I、II、III 及 IV 級耕地優良程度的權重為 100%、90%、70% 及 40% 的權重，再以區域內每一級耕地之比例乘以上列權重，所得的乘積合即為該地之地力係數。依各種能源作物之轉換潛力 (公升/公頃/

月)，與該地區對能源作物之地力系數相乘，即可計算出能源作物之能源產量（公升/公頃）。

### 5.3 經濟效益

在台灣加入世界貿易組織 WTO 後，隨之而來農業的市場競爭、農民所得降低、休耕補貼與土地廢耕等問題，由於能源作物之興起而有轉機。在經濟效益方面用能源作物的推動，使農民所得提高、農作的價格上漲、因為廢耕地而產出之能源亦具有經濟效益。其他例如疏解國際油價變動的衝擊、疏解化石能源耗竭的壓力等均為以廢耕地利用的經濟效益（黃等，95 年）。單位面積因能源作物栽種而產生的經濟效益計算方式，主要分為二部份，一為每公頃農民的收入(Econ.1)，二為每公頃廢耕地利用之產值(Econ.2)，分述如下：

1. 每公頃農民的收入，在能源作物推動的過程中，農民的收入來源主要有二個，其一是種植作物之收成可進入市場販售所獲得之價值；其二為政府對能源作物的獎勵措施每公頃 60,000 元，其中包括環境給付 45,000 元/公頃及資材與生產作業費 15,000 元/公頃。因此每公頃農民的收入（元/公頃）為每公頃產量（公斤/公頃）乘以價格（元/公斤）。在作物之收購價格方面，法國的生物燃料廠以食用油菜市價 95% 以上的價格向農民收購生物燃料用油菜（黃等，95 年）；另外，我國收購價以玉米為例，95 年平均價格為 15.07 元/公斤，而同期收購價為 14 元/公斤（農糧署，96 年），因此本研究對每公頃農民的收入算式中的價格，以市價的 95% 計算。政府對能源作物的獎勵措施如表 5.3 所列，每公頃 60,000 元的補助，其中 15,000 元/公頃主要是補助其生產成本故不計入農民的收入，由於沒找到生產成本的資料，暫假設此補助經費足以支付生產成本。

2. 每公頃廢耕地利用之產值如表 5.4 所列，依據每公頃能源產量（公升/公頃）乘以能源價格（元/公升）估算。以生質柴油 31.9 元/公升及生質酒精 34.5 元/公升（經濟部能源局網站，97 年）為計算基準，由於目前的生產規模下之生質柴油的平均生產成本已高達 41 元左右，若無補貼獎勵機制，其市場售價至少要達每公升 50 元以上（魏等，97 年）。

## 5.4 優選模式

本研究所建立優選模式主要以最小面積及永續效益為目標，以期評估評估各情境下能源作物發展的優選方案，以供評估推動生質能方案及進行相關決策分析時參考。由於土地資源珍貴，雖然是採用廢耕地，亦應以最小面積發揮最大效益為目標，然而最小面積及最大效益二個目標是具有衝突性的目標，不太容易同時進行優選，雖然可採用多目標分析方法求解，但較為複雜，故本研究採用二階段模式求取近似最佳解，求解效率較高。第一階段先放寬生質柴油及生質酒精總需求量為最小需求量再加 5%，求取能滿足總需求量的最小栽種面積；第二階段則依據第一階段所求出的面積，求取最大效益解。

第一階段優選模式如下列：

$$\text{Min } \sum_z f_{k,z} \quad (5.1a)$$

S.T.

$$f_{k,z} \leq A_{k,z} \quad \forall (K, Z) \quad (5.1b)$$

$$\sum_k f_{k,z} \leq A_z \quad \forall Z \quad (5.1c)$$

$$\sum_z \sum_k (f_{k,z} \times D_{k,z}) \geq (1.05)D_r^s \quad \forall (K, Z) \quad (5.1d)$$

$$\sum_z \sum_k (f_{k,z} \times G_{k,z}) \geq (1.05)G_r^s \quad \forall (K, Z) \quad (5.1e)$$

其中

$A_z$  為區域  $z$  最大適栽面積；

$f_{k,z}$  為擬求得之區域  $z$  作物  $k$  的栽種面積；

$A_{k,z}$  為區域  $z$  作物  $k$  的最大適栽面積；

$D_{k,z}$  為區域  $z$  作物  $k$  的單位面積生質柴油之產量；

$D_r^s$  為某一情境下生質柴油之總需求量；

$G_{k,z}$  為區域  $z$  作物  $k$  的單位面積生質酒精之產量；

$G_r^s$  為某一情境下生質酒精之總需求量。

限制式中，式5.1b限制區域 $z$ 作物 $k$ 的栽種面積需小於或等於區域 $z$ 栽種作物 $k$ 的最大適栽面積；式5.1c則限制區域 $z$ 栽種作物 $k$ 的適栽面積之加總需不大於區域 $z$ 栽種作物的最大適栽面積；第一階段所設定生質柴油及生質酒精之總需求量為最小總需求量再加5%，如式5.1d及5.1e所示。此模式若沒有放寬總需求量，則所求得的最小面積解，頗可能不容許下一階段模考量最大效益下求取更好的優選解，故有必要先放寬總需求量，但放寬的額度亦不宜太大，以免偏離最小總需求量太多。

第二階段以前一模式所求得各區所使用面積為限制，求取最大效益解，其優選模式如下列：

$$Max \sum_z \sum_k \sum_i (B_{i,k,z} \times f_{k,z}) \quad (5.2a)$$

S.T.

$$f_{k,z} \leq A_{k,z} \quad \forall (K,Z) \quad (5.2b)$$

$$\sum_k f_{k,z} \leq MA_z \quad \forall Z \quad (5.2c)$$

$$\sum_z \sum_k (f_{k,z} \times D_{k,z}) \geq D_r^s \quad \forall (K,Z) \quad (5.2d)$$

$$\sum_z \sum_k (f_{k,z} \times G_{k,z}) \geq G_r^s \quad \forall (K,Z) \quad (5.2e)$$

其中

$B_{i,k,z}$  為區域  $z$  作物  $k$  效益  $i$  之值;

$MA_z$  為前一模式中所得在區域  $z$  所使用的面積;

其他變數及常數同上一模式。

第二階段模式的限制式與第一階段類似，惟式 5.2(c) 中  $MA_z$  為第一階段模式所求得在區域  $z$  所使用面積，即為第一階段優選解下式 5.1(c) 左方項的值。且式 5.2(d) 及 5.2(e) 的總需求量限制恢復為原需求量，沒有增加 5%。此方式可求取滿足需求量且面積接近最小面積下的最大效益解。所求得的總需求量會比原需求量大一些(在 0-5% 間)，但多餘的部分亦可作為安全預留量，而最重要的此方式能求取最大效益解，而不是只考量使用面積最小。

## 5.5 情境設定

情境設定的目的是在不同發展條件下，假設不同情境，以求得優選方案及分析其效益，以供相關進行決策分析時參考。本研究依據經濟部提出之「發展綠色能源—生質燃料執行方案」，此方案規劃 2006 年能源作物綠色公車計畫、2007 年綠色城鄉 (Green County) 應用推廣計畫、2008 年全面推動實施 B1 (於化石柴油內添加 1% 生質柴油) 及 2010 年全面推動實施 B2 (於化石柴油內添加 2% 生質柴油) 等四階段行動方案；另於生質酒精整體發展策略部分，規劃 2007 年綠色公務車先行計畫、2009 年都會區 E3 (於化石汽油內添加 3% 生質酒精) 計畫及 2011 年全面供應 E3 等三階段行動方案，本研究另外參考經濟部能源局 2006 年全國車輛用汽、柴油用量，設定了八種不同的情境，如表 5.6 所列。在表列的各種情境下，汽柴油分別有不同的需油量，以下說明各情境之內容。

1. 情境一：2006 年起經濟部能源局推動能源作物綠色公車計畫，採用生質柴油 B1 (在超級柴油中添加 1% 生質柴油) 推廣初

期以公營公車為主，有高雄及嘉義二縣市公車加入。

2. 情境二：配合綠色城鄉（Green County）應用推廣計畫將整合經濟部等部會主管機關的資源，透過各項措施，建構一個完整的綠色城鄉生質柴油之供應體系為目的。本計畫預計推廣使用量達6,500公秉。另外為推動我國生質酒精發展，經濟部啟動「綠色公務車先行計畫」，實施對象主要為臺北市內中央與地方單位公務機關適用E3酒精汽油之公務車輛，添加使用E3酒精汽油。
3. 情境三：全面在柴油中添加B1生質柴油；持續推動「綠色公務車計畫」。
4. 情境四：全面在柴油中添加B1生質柴油；推動都會區E3計畫，在北高兩市加油站供應E3酒精汽油。
5. 情境五：全面在柴油中添加B2生質柴油；推動都會區E3計畫，除北高二市外推廣至5個省轄市加油站供應E3酒精汽油。
6. 情境六：全面在柴油中添加B2生質柴油；全面在汽油中添加E3酒精汽油。
7. 情境七：全面添加B2生質柴油及E3酒精汽油。大客貨車全面實施B5;公務機關適用E10酒精汽油之公務車輛，添加使用E10酒精汽油。
8. 情境八：全面在柴油中添加B5生質柴油；全面在汽油中添加E10酒精汽油。

本研究依照推動生質柴油及生質酒精政策，設定了上述情境，在每個情境中可計算出該情境之總需油量。以生質柴油總需求量  $D_r^s$  為優選模式中限制式5.1d及5.2d之限制值，而生質酒精之總需求量  $G_r^s$  為優選模式中限制式5.1e及5.2e之限制值，這些值如表5.7所列。



## 5.6 結果與討論

### 5.6.1 各情境分析

本研究使用之軟體為微軟公司(MicroSoft)所出品之Office 2003中Excel軟體之增益集中的規劃求解功能求解，依前述情境及二階段優選模式求解，以下分別依環境效益、能源效益及經濟效益分析所得結果：

第一階段計算生質柴油及生質酒精所需產量下之最小栽種面積，在情境一時生質柴油所需產量下之最小栽種面積在第一區及第三區為0公頃；在第二區為39公頃。在情境二狀況下，生質柴油及生質酒精所需產量下之最小栽種面積在第一區及第三區為0公頃；在第二區為9,382公頃，在情境三時生質柴油及生質酒精所需產量下之最小栽種面積在第一區及第三區為0公頃；在第二區為16,875公頃，在情境四時生質柴油及生質酒精所需產量下之最小栽種面積在第一區及第三區為0公頃；在第二區為32,844公頃，在情境五時生質柴油及生質酒精所需產量下之最小栽種面積在第一區及第三區為0公頃；在第二區為55,233公頃，在情境六時生質柴油及生質酒精所需產量下之最小栽種面積在第一區及第三區為0公頃；在第二區為80,010公頃，在情境七時生質柴油及生質酒精所需產量下之最小栽種面積在第一區為0公頃；在第二區為119,020公頃，在第三區為16,158公頃；在情境八時生質柴油及生質酒精所需產量下之最小栽種面積在第一區為84,245公頃；在第二區為119,020公頃，在第三區為70,125公頃；在情境八三區使用廢耕農地為273,389公頃。以現有台灣廢耕農地面積為273,768公頃，在情境八時已利用99.86%之廢耕農地。如表5.8所示。

由上述第一階段對生質柴油及生質酒精所需產量下之最小栽種面積，在情境一至情境六之下以栽種在第二區為優，且生質柴油以胡麻，生質酒精以甘蔗為其作物，既可供給全國生質柴油及生質酒精的需求量且均

未占用糧食生產用地。在情境七及情境八中，生質柴油之耕作，陸續開始使用第三區及第一區之廢耕農地。在生質柴油之生產方面，情境七除了原本在第二區栽種的胡麻之外，尚需在第三區栽種向日葵，情境八除了原本在第二區栽種的胡麻之外，尚需在第一區栽種胡麻、向日葵及在第三區栽種花生、向日葵，方得供應日益增加之生質柴油之需求量；在生質酒精之生產方面，情境七在第二區栽種的甘蔗為較佳選擇，情境八則是在全區均栽種甘蔗即可供應生質酒精之所需。

第二階段所求得結果中。在情境一時，經濟部能源局推動能源作物綠色公車計畫，採用B1生質柴油，推廣初期以公營公車為主，需要生質柴油約147公秉/年；此情境尚未開始生質酒精之推廣，故無酒精作物栽種需求。此情境的結果如表5.9所列，只需在第二區栽種胡麻39公頃可以達到生質柴油之總需求量。經濟效益包括農民的收入及廢耕地利用之產值二個部份，農民收入為527萬元，廢耕地利用之產值為487萬元。能源產量為224公秉。環境效益為減少507公噸eCO<sub>2</sub>。

在情境二中，配合綠色城鄉（Green County）應用推廣計畫，建構一個完整的綠色城鄉生質柴油之供應體系為目的。另外為推動我國生質酒精發展，經濟部啟動「綠色公務車先行計畫」，實施對象主要為臺北市內中央與地方單位公務機關適用E3酒精汽油之公務車輛，添加使用E3酒精汽油。結果如表5.10所列，經濟效益中，農民收入為17.7億元，廢耕地利用之產值為13.7億元。在能源效益方面為產出1.6萬公秉生質酒精及3.8萬公秉生質柴油。在環境效益方面，減少11.2萬公噸eCO<sub>2</sub>。

在情境三，全面在柴油中添加B1生質柴油；持續推動「綠色公務車計畫」，此情境分析結果如表5.11所列，經濟效益中，農民收入為32.7億元，廢耕地利用之產值為25.1億元。在能源效益方面為產出3.2萬公秉生質酒精及6.6萬公秉生質柴油。在環境效益方面，減少20.0萬公噸eCO<sub>2</sub>。

情境四，全面在柴油中添加B1生質柴油；推動都會區E3計畫，在北大高兩市加油站供應E3酒精汽油。結果如表5.12所列，經濟效益中，農民收入為76.9億元，廢耕地利用之產值為54.2億元。在能源效益方面為產出10.3萬公秉生質酒精及8.8萬公秉生質柴油。在環境效益方面，減少36.0萬公噸eCO<sub>2</sub>。

情境五，全面在柴油中添加B2生質柴油；推動都會區E3計畫，除北大高二市外推廣至5個省轄市加油站供應E3酒精汽油。情境分析結果如表5.13所列。經濟效益中，農民收入為134億元，廢耕地利用之產值為93.2億元。在能源效益方面為產出18.9萬公秉生質酒精及13.2萬公秉生質柴油。在環境效益方面，減少59.6萬公噸eCO<sub>2</sub>。

情境六，全面在柴油中添加B2生質柴油；全面在汽油中添加E3酒精汽油。情境分析結果如表5.14所列。經濟效益中，整體農民收入為179億元，廢耕地利用之產值為129億元。在能源效益方面為產出26.8萬公秉生質酒精及17.6萬公秉生質柴油。在環境效益方面，減少80.3萬公噸eCO<sub>2</sub>。

情境七，全面添加B2生質柴油及E3酒精汽油。大客貨車全面實施B5；公務機關適用E10酒精汽油之公務車輛，添加使用E10酒精汽油。情境分析結果如表5.15所列。經濟效益中，整體農民收入為313億元，廢耕地利用之產值為223億元。在能源效益方面為產出49.1萬公秉生質酒精及25.6萬公秉生質柴油。在環境效益方面，減少132萬公噸eCO<sub>2</sub>。

情境八全面在柴油中添加B5生質柴油；全面在汽油中添加E10酒精汽油。情境分析結果如表5.16所列。經濟效益中，整體農民收入為604.7億元，廢耕地利用之產值為391億元。在能源效益方面為產出86.9萬公秉生質酒精及44萬公秉生質柴油。在環境效益方面，減少235萬公噸eCO<sub>2</sub>。

## 5.6.2 情境分析結果討論

前述的研究結果中，在農民收入所產生的經濟效益中，栽種酒精作物

及油料作物所帶給農民的收入增加情形如圖5.1所示。除情境一及二，酒精需求量尚為小量，此時生質酒精對農民收入之貢獻不及生質柴油，然而自情境三起至情境八，生質酒精所帶給農民之經濟效益逐漸升高，至情境八，生質酒精對農民收入已是生質柴油的5倍。其次，廢耕地產值所產生的經濟效益中，栽種酒精作物及油料作物對廢耕地產值之貢獻如圖5.2所示。除情境一至三，生質酒精需求量尚為小量，此時生質酒精對廢耕地產值之貢獻不及生質柴油，然而自情境四起至情境八，生質酒精所產生的廢耕地產值之經濟效益逐漸升高，至情境八，生質酒精之廢耕地產值已是生質柴油的3倍。

在能源效益中，栽種酒精作物及油料作物之能源產出如圖5.3所示。除情境一至三，生質酒精需求量尚為小量，此時生質酒精能源產出不及生質柴油，然而自情境四起至情境八，隨著生質酒精添加比例的提升，生質酒精之能源效益逐漸升高，至情境八，生質酒精之產量已是生質柴油的2倍。在環境效益中，栽種酒精作物及油料作物所減少eCO<sub>2</sub>的量如圖5.4。如第5.1節所述每100公秉生質柴油及生質酒精分別可降低排放328及151公噸eCO<sub>2</sub>，因此生質柴油及生質酒精會因為優選過程中，耕作面積的分散或集中而使eCO<sub>2</sub>之減量有所變化。例如情境一至情境五，生質柴油之eCO<sub>2</sub>減量均較生質酒精為優，隨著需油量之增加，在情境六時二者之eCO<sub>2</sub>減量差異不多，在情境七及情境八時，生質酒精產生eCO<sub>2</sub>之減量均大於生質柴油。

以生質柴油及生質酒精栽種的區域與種類來觀察，在情境一至六，大多以第二區為主要栽種區，第二區主要有台中、南投、彰化、雲林、嘉義及台南等縣市，這亦符合台灣農作物生產之現狀。而栽種之種類在油料作物以胡麻為優，在酒精作物則以甘蔗為佳，以台灣農地不大的耕地實施能源作物之栽種，生質柴油及生質酒精各以一種來栽種，是較具有效益的栽種方法，亦符合台灣之需求，如表5.9~表5.14。在情境七及情境八，由於需油量大增，廢耕地的利用亦擴及第三區與第一區的面積，而栽種之種類

在油料作物則不再以胡麻為主，而向日葵及花生也是在需油量擴大時期優良的作物，在大豆之效益不及於其他作物而未為優選模式採用，故至廢耕地用罄時，大豆在台灣尚非較佳之油料作物，如表5.15~表5.16。



表 5.1 能源作物對 eCO<sub>2</sub> 之減量

分區	第一區			第二區			第三區		
	能源產量 (公升/公頃)	單位減量 (CO <sub>2</sub> eq,公 噸/公秉)	eCO <sub>2</sub> 減量 (公噸/公頃)	能源產量 (公升/公頃)	單位減量 (CO <sub>2</sub> eq,公 噸/公秉)	eCO <sub>2</sub> 減量 (公噸/公頃)	能源產量 (公升/公頃)	單位減量 (CO <sub>2</sub> eq,公 噸/公秉)	eCO <sub>2</sub> 減量 (公噸/公頃)
大豆	1357	0.328	4.45	*	*	*	1699	0.328	5.57
油菜	*	*	*	*	*	*	*	*	*
花生	*	*	*	2240	0.328	7.35	3033	0.328	9.95
向日葵	2423	0.328	7.95	3781	0.328	12.4	3789	0.328	12.43
胡麻	2335	0.328	7.66	3951	0.328	12.96	*	*	*
甘蔗	**	**	**	5895	0.151	8.9	**	**	**
甜高粱	1536	0.151	2.32	**	**	**	1427	0.151	2.16
玉米	1658	0.151	2.5	3020	0.151	4.56	2400	0.151	3.62
甘藷	1532	0.151	2.31	2263	0.151	3.42	1914	0.151	2.89

註：\*為第四章經過評選篩除之油料作物；\*\*為第四章經過評選篩除之酒精作物

表 5.2 能源作物之能源產量

分區	第一區			第二區			第三區		
	轉換潛力 (L/Ha/M)	地力系數	能源產量 (L/Ha)	轉換潛力 (L/Ha/M)	地力系數	能源產量 (L/Ha)	轉換潛力 (L/Ha/M)	地力系數	能源產量 (L/Ha)
大豆	213	0.53	1357	*	*	*	240	0.59	1699
油菜	*	*	*	*	*	*	*	*	*
花生	*	*	*	434	0.43	2240	468	0.54	3033
向日葵	388	0.52	2423	426	0.74	3781	509	0.62	3789
胡麻	405	0.48	2335	499	0.66	3951	*	*	*
甘蔗	**	**	**	673	0.73	5895	**	**	**
甜高粱	267	0.48	1536	**	**	**	195	0.61	1427
玉米	282	0.49	1658	381	0.66	3020	333	0.6	2400
甘藷	241	0.53	1532	273	0.69	2263	270	0.59	1914

註：\*為第四章經過評選篩除之油料作物；\*\*為第四章經過評選篩除之酒精作物

表 5.3 農民收入

分區	第一區				
能源作物	價格(元/公斤)	產量(公斤/公頃)	銷售金額(元)	環境給付(\$)	第一區收入(元/公頃)
大豆	14	3,200	45,600	45,000	90,600
油菜	11	2,600	28,158	45,000	73,158
花生	38	2,451	92,207	45,000	137,207
向日葵	36	1,906	69,350	45,000	114,350
胡麻	29	2,560	72,960	45,000	117,960
甘蔗	24	10,400	245,795	45,000	290,795
甜高粱	13	4,800	63,840	45,000	108,840
玉米	14	8,457	121,075	45,000	166,075
甘藷	12	4,335	51,272	45,000	96,272
分區	第二區				
能源作物	價格(元/公斤)	產量(公斤/公頃)	銷售金額(元)	環境給付(\$)	第二區收入(元/公頃)
大豆	14	2,600	37,050	45,000	82,050
油菜	11	2,700	29,241	45,000	74,241
花生	38	3,617	136,072	45,000	181,072
向日葵	36	2,090	76,045	45,000	121,045
胡麻	29	3,151	89,804	45,000	134,804
甘蔗	24	10,900	257,612	45,000	302,612
甜高粱	13	4,800	63,840	45,000	108,840
玉米	14	11,438	163,752	45,000	208,752
甘藷	12	4,920	58,191	45,000	103,191
分區	第三區				
能源作物	價格(元/公斤)	產量(公斤/公頃)	銷售金額(元)	環境給付(\$)	第三區收入(元/公頃)
大豆	14	3,600	51,300	45,000	96,300
油菜	11	2,600	28,158	45,000	73,158
花生	38	3,900	146,718	45,000	191,718
向日葵	36	2,500	90,963	45,000	135,963
胡麻	29	2,424	69,084	45,000	114,084
甘蔗	24	11,700	276,519	45,000	321,519
甜高粱	13	3,510	46,683	45,000	91,683
玉米	14	10,000	143,165	45,000	188,165
甘藷	12	4,866	57,553	45,000	102,553

表 5.4 廢耕地利用之產值

分區	第一區			第二區			第三區		
	產量(公升/ 公頃)	價格(元/ 公升)	產值(元/ 公頃)	產量(公升/ 公頃)	價格(元/ 公升)	產值(元/ 公頃)	產量(公升/ 公頃)	價格(元/ 公升)	產值(元/ 公頃)
大豆	1357	31.5	42739	*	*	*	1699	31.5	53525
油菜	*	*	*	*	*	*	*	*	*
花生	*	*	*	2240	31.5	70549	3033	31.5	95528
向日葵	2423	31.5	76316	3781	31.5	119088	3789	31.5	119350
胡麻	2335	31.5	73544	3951	31.5	124468	*	*	*
甘蔗	**	**	**	5895	34	200446	**	**	**
甜高粱	1536	34	52224	**	**	**	1427	34	48532
玉米	1658	34	56357	3020	34	102667	2400	34	81600
甘藷	1532	34	52078	2263	34	76949	1914	34	65075

註：\*為第四章經過評選篩除之油料作物；\*\*為第四章經過評選篩除之酒精作物





表 5.5 能源作物之效益

分區	效益	Econ-1	Econ-2	Eng	Env
I	花生	137,207	47,806	1,518	4.98
	向日葵	114,350	76,316	2,423	7.95
	胡麻	117,960	73,544	2,335	7.66
	甘蔗	290,795	141,445	4,160	6.28
	甜高粱	108,840	52,224	1,536	2.32
	甘藷	96,272	52,078	1,532	2.31
II	花生	181,072	70,549	2,240	7.35
	向日葵	121,045	119,088	3,781	12.40
	胡麻	134,804	124,468	3,951	12.96
	甘蔗	302,612	200,446	5,895	8.90
	玉米	208,752	102,667	3,020	4.56
	甘藷	103,191	76,949	2,263	3.42
III	大豆	96,300	53,525	1,699	5.57
	花生	191,718	95,528	3,033	9.95
	向日葵	135,963	119,350	3,789	12.43
	甘蔗	321,519	182,637	5,372	8.11
	玉米	188,165	81,600	2,400	3.62
	甘藷	102,553	65,075	1,914	2.89

1. Econ.1：農民收入
2. Econ.2：廢耕地利用之產值
3. Eng.：能源產量
4. Env.：eCO<sub>2</sub> 減量

表 5.6 台灣發展能源作物之政策及情境說明

情境分類	情境說明	時程	推動生質柴油政策	推動生質酒精政策
SE 1	B1生質柴油推廣初期以公營公車為主, 有高雄及嘉義二縣市公車加入。	2006	綠色公車計畫	
SE 2	運輸公司使用B1比例逐步提高; 臺北市內公務機關之車輛, 添加使用E3酒精汽油。	2007	綠色城鄉 (Green County) 應用推廣計畫	綠色公務車先行計畫
SE 3	全面添加B1生質柴油, 有75%使用; 臺北市內公務機關之車輛, 添加使用E3酒精汽油。	2008	全面推動實施B1	
SE 4	全面在柴油中添加B1生質柴油; 推動都會區E3計畫, 在北高兩市供應E3酒精汽油。	2009		都會區E3計畫
SE 5	全面添加B2, 有75%使用; 都會區E3計畫, 推廣至5個省轄市加油站供應E3酒精汽油。	2010	全面推動實施B2	
SE 6	全面在柴油中添加B2生質柴油; 全面在汽油中添加E3酒精汽油。	2011		全面供應E3
SE 7	全面添加B2及E3。大客貨車實施B5; 公務機關車輛, 添加使用E10酒精汽油。	2011~		
SE 8	全面在柴油中添加B5生質柴油; 全面在汽油中添加E10酒精汽油。		本研究假設情境	本研究假設情境
SE 9	假設所有廢耕地都用於生質能這個情境。			

資料來源：SE1~SE6 經濟部能源局網站，2007

表 5.7 情境設定之需油量統計

情境分類	車輛分類	大客車 (%/車輛數)		大貨車 (%/車輛數)		小客車(汽) (%/車輛數)		小貨車(柴) (%/車輛數)		需油量 D
	全國監理 登記(輛)	26,829	165,577	5,681,971	803,330					
SE 1	I	<u>1</u>	268	<u>0</u>	0	<u>0</u>	0	<u>0</u>	0	D 柴=147,238 D 汽=0
	II	<u>3</u>	805	<u>0</u>	0	<u>0</u>	0	<u>0</u>	0	
	III	<u>5</u>	1,341	<u>0</u>	0	<u>0</u>	0	<u>0</u>	0	
SE 2	I	<u>20</u>	5,366	<u>15</u>	24,837	<u>5</u>	284,099	<u>20</u>	160,666	D 柴=30,058,877 D 汽=13,402,650
	II	<u>17</u>	4,561	<u>12</u>	19,869	<u>0</u>	0	<u>17</u>	136,566	
	III	<u>15</u>	4,024	<u>10</u>	16,558	<u>0</u>	0	<u>15</u>	120,500	
SE 3	I	<u>40</u>	10,732	<u>40</u>	66,231	<u>10</u>	568,197	<u>40</u>	321,332	D 柴=45,538,500 D 汽=26,805,300
	II	<u>35</u>	9,390	<u>35</u>	57,952	<u>0</u>	0	<u>35</u>	281,166	
	III	<u>25</u>	6,707	<u>25</u>	41,394	<u>0</u>	0	<u>25</u>	200,833	
SE 4	I	<u>40</u>	10,732	<u>40</u>	66,231	<u>20</u>	1,136,394	<u>40</u>	321,332	D 柴=60,718,000 D 汽=93,818,550
	II	<u>35</u>	9,390	<u>35</u>	57,952	<u>0</u>	0	<u>35</u>	281,166	
	III	<u>25</u>	6,707	<u>25</u>	41,394	<u>15</u>	852,296	<u>25</u>	200,833	
SE 5	I	<u>40</u>	10,732	<u>40</u>	66,231	<u>30</u>	1,704,591	<u>40</u>	321,332	D 柴=91,077,000 D 汽=174,234,450
	II	<u>35</u>	9,390	<u>35</u>	57,952	<u>10</u>	568,197	<u>35</u>	281,166	
	III	<u>25</u>	6,707	<u>25</u>	41,394	<u>25</u>	1,420,493	<u>25</u>	200,833	
SE 6	I	<u>40</u>	10,732	<u>40</u>	66,231	<u>35</u>	1,988,690	<u>40</u>	321,332	D 柴=121,436,000 D 汽=268,053,000
	II	<u>35</u>	9,390	<u>35</u>	57,952	<u>35</u>	1,988,690	<u>35</u>	281,166	
	III	<u>25</u>	6,707	<u>25</u>	41,394	<u>30</u>	1,704,591	<u>25</u>	200,833	
SE 7	I	<u>40</u>	10,732	<u>40</u>	66,231	<u>35</u>	1,988,690	<u>40</u>	321,332	D 柴=176,826,717 D 汽=491,430,500
	II	<u>35</u>	9,390	<u>35</u>	57,952	<u>35</u>	1,988,690	<u>35</u>	281,166	
	III	<u>25</u>	6,707	<u>25</u>	41,394	<u>30</u>	1,704,591	<u>25</u>	200,833	
SE 8	I	<u>40</u>	10,732	<u>40</u>	66,231	<u>35</u>	1,988,690	<u>40</u>	321,332	D 柴=303,590,000 D 汽=893,510,000
	II	<u>35</u>	9,390	<u>35</u>	57,952	<u>35</u>	1,988,690	<u>35</u>	281,166	
	III	<u>25</u>	6,707	<u>25</u>	41,394	<u>30</u>	1,704,591	<u>25</u>	200,833	

表 5.8 在模式一中所求得在區域  $Z$  所使用的面積  $MA_z$

情境	第一區	第二區	第三區
SE1	0	39	0
SE2	0	9,382	0
SE3	0	16,875	0
SE4	0	32,844	0
SE5	0	55,234	0
SE6	0	80,010	0
SE7	0	119,020	16,158
SE8	84,245	119,020	70,125

單位：公頃



表 5.9 情境一(SE1)之效益分析

Econ-1：農民收入(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	39	
(B)	胡麻	0	5,274,319	
生質酒精效益 =		0	生質柴油效益= 5,274,319	

Econ-2：廢耕地利用之產值(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	39	
(B)	胡麻	0	4,869,914	
生質酒精效益 =		0	生質柴油效益= 4,869,914	

Eng：能源產量(公升)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	39	
(B)	胡麻	0	224,152	
生質酒精效益 =		0	生質柴油效益= 224,152	

Env：eCO2 減量(公噸)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	39	
(B)	胡麻	0	507	
生質酒精效益 =		0	生質柴油效益= 507	

表 5.10 情境二(SE2)之效益分析

Econ-1：農民收入(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	7,109	0
	甘蔗	0	2,273	0
(B)	胡麻	0	958,262,914	0
	甘蔗	0	687,951,231	0
生質酒精效益=		687,951,231	生質柴油效益=	958,262,914

Econ-2：廢耕地利用之產值(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	7,109	0
	甘蔗	0	2,273	0
(B)	胡麻	0	884,788,792	0
	甘蔗	0	455,689,373	0
生質酒精效益=		455,689,373	生質柴油效益=	884,788,792

Eng：能源產量(公升)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	6,662	0
	甘蔗	0	2,720	0
(B)	胡麻	0	38,165,482	0
	甘蔗	0	16,035,204	0
生質酒精效益=		16,035,204	生質柴油效益=	38,165,482

Env：eCO<sub>2</sub> 減量(公噸)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	7,109	0
	甘蔗	0	2,273	0
(B)	胡麻	0	92,127	0
	甘蔗	0	20,233	0
生質酒精效益=		20,233	生質柴油效益=	92,127

表 5.11 情境三(SE3)之效益分析

Econ-1：農民收入(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(f,k,z)	胡麻	0	12,328	0
	甘蔗	0	4,547	0
(B)	胡麻	0	1,661,912,317	0
	甘蔗	0	1,375,902,461	0
生質酒精效益 =		1,375,902,461	生質柴油效益= 1,661,912,317	

Econ-2：廢耕地利用之產值(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(f,k,z)	胡麻	0	12,328	0
	甘蔗	0	4,547	0
(B)	胡麻	0	1,534,486,382	0
	甘蔗	0	911,378,745	0
生質酒精效益=		911,378,745		生質柴油效益= 1,534,486,382

Eng：能源產量(公升)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(f,k,z)	胡麻	0	11,525	0
	甘蔗	0	5,350	0
(B)	胡麻	0	66,025,486	0
	甘蔗	0	31,540,203	0
生質酒精效益 =		31,540,203	生質柴油效益= 66,025,486	

Env：eCO2 減量(公噸)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(f,k,z)	胡麻	0	12,328	0
	甘蔗	0	4,547	0
(B)	胡麻	0	159,776	0
	甘蔗	0	40,466	0
生質酒精效益=		40,466		生質柴油效益= 159,776

表 5.12 情境四(SE4)之效益分析

Econ-1：農民收入(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	16,930	0
	甘蔗	0	15,914	0
(B)	胡麻	0	2,282,282,831	0
	甘蔗	0	4,815,658,615	0
生質酒精效益 =		4,815,658,615	生質柴油效益= 2,282,282,831	

Econ-2：廢耕地利用之產值(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	16,930	0
	甘蔗	0	15,914	0
(B)	胡麻	0	2,107,290,432	0
	甘蔗	0	3,189,825,608	0
生質酒精效益 =		3,189,825,608	生質柴油效益= 2,107,290,432	

Eng：能源產量(公升)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	15,366	0
	甘蔗	0	17,478	0
(B)	胡麻	0	88,033,981	0
	甘蔗	0	103,030,697	0
生質酒精效益 =		103,030,697	生質柴油效益= 88,033,981	

Env：eCO<sub>2</sub> 減量(公噸)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	16,930	0
	甘蔗	0	15,914	0
(B)	胡麻	0	219,418	0
	甘蔗	0	141,631	0
生質酒精效益 =		141,631	生質柴油效益= 219,418	



表 5.13 情境五(SE5)之效益分析

Econ-1：農民收入(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	25,680	0
	甘蔗	0	29,554	0
(B)	胡麻	0	3,461,731,789	0
	甘蔗	0	8,943,366,000	0
生質酒精效益 =		8,943,366,000	生質柴油效益= 3,461,731,789	

Econ-2：廢耕地利用之產值(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	25,680	0
	甘蔗	0	29,554	0
(B)	胡麻	0	3,196,305,988	0
	甘蔗	0	5,923,961,843	0
生質酒精效益 =		5,923,961,843	生質柴油效益= 3,196,305,988	

Eng：能源產量(公升)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	23,050	0
	甘蔗	0	32,184	0
(B)	胡麻	0	132,050,971	0
	甘蔗	0	189,725,137	0
生質酒精效益 =		189,725,137	生質柴油效益= 132,050,971	

Env：eCO<sub>2</sub> 減量(公噸)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	25,680	0
	甘蔗	0	29,554	0
(B)	胡麻	0	332,809	0
	甘蔗	0	263,030	0
生質酒精效益 =		263,030	生質柴油效益= 332,809	

表 5.14 情境六(SE6)之效益分析

Econ-1：農民收入(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	30,733	0
	甘蔗	0	45,468	0
(B)	胡麻	0	4,142,898,496	0
	甘蔗	0	13,759,024,615	0
生質酒精效益 =		13,759,024,615	生質柴油效益= 4,142,898,496	

Econ-2：廢耕地利用之產值(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	30,733	0
	甘蔗	0	45,468	0
(B)	胡麻	0	3,825,244,726	0
	甘蔗	0	9,113,787,450	0
生質酒精效益 =		9,113,787,450	生質柴油效益= 3,825,244,726	

Eng：能源產量(公升)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	30,733	0
	甘蔗	0	45,468	0
(B)	胡麻	0	176,067,962	0
	甘蔗	0	268,031,176	0
生質酒精效益 =		268,031,176	生質柴油效益= 176,067,962	

Env：eCO<sub>2</sub> 減量(公噸)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	胡麻	0	30,733	0
	甘蔗	0	45,468	0
(B)	胡麻	0	398,297	0
	甘蔗	0	404,661	0
生質酒精效益 =		404,661	生質柴油效益= 398,297	

表 5.15 情境七(SE7)之效益分析

Econ-1：農民收入(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	向日葵	0	0	9,478
	胡麻	0	35,663	0
	甘蔗	0	83,357	0
(B)	向日葵	0	0	1,288,626,564
	胡麻	0	4,807,492,789	0
	甘蔗	0	25,224,878,460	0
生質酒精效益=		25,224,878,460	生質柴油效益= 6,096,119,353	

Econ-2：廢耕地利用之產值(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	向日葵	0	0	9,478
	胡麻	0	35,663	0
	甘蔗	0	83,357	0
(B)	向日葵	0	0	1,131,172,307
	胡麻	0	4,438,881,728	0
	甘蔗	0	16,708,610,326	0
生質酒精效益=		16,708,610,326	生質柴油效益= 5,570,054,035	

Eng：能源產量(公升)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	向日葵	0	0	9,478
	胡麻	0	35,663	0
	甘蔗	0	83,357	0
(B)	向日葵	0	0	52,070,889
	胡麻	0	204,312,381	0
	甘蔗	0	491,390,489	0
生質酒精效益=		491,390,489	生質柴油效益= 256,383,270	

Env：eCO<sub>2</sub> 減量(公噸)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	向日葵	0	0	9,478
	胡麻	0	35,663	0
	甘蔗	0	83,357	0
(B)	向日葵	0	0	117,809
	胡麻	0	462,190	0
	甘蔗	0	741,879	0
生質酒精效益=		741,879	生質柴油效益= 579,999	

表 5.16 情境八(SE8)之效益分析

Econ-1：農民收入(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	花生	0	0	28,412
	向日葵	21,247	0	841
	胡麻	23,837	32,336	
	甘蔗	39,161	86,684	40,872
(B)	花生	0	0	5,447,091,816
	向日葵	2,429,561,593	0	114,344,883
	胡麻	2,811,812,520	4,359,047,732	0
	甘蔗	11,387,822,995	26,231,561,168	7,690,679,880
生質酒精效益=		45,310,064,043	生質柴油效益= 15,161,858,544	

Econ-2：廢耕地利用之產值(元,新台幣)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	花生	0	0	0
	向日葵	33,559	0	39,289
	胡麻	11,525	11,772	
	甘蔗	39,161	107,248	30,836
(B)	花生	0	0	0
	向日葵	2,561,088,644	0	4,689,142,150
	胡麻	847,573,468	1,465,280,480	
	甘蔗	5,539,127,645	21,497,363,064	2,516,217,600
生質酒精效益=		29,552,708,309	生質柴油效益= 9,563,084,742	

Eng：能源產量(公升)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	向日葵	33,559	0	39,289
	胡麻	11,525	11,772	
	甘蔗	39,161	107,248	30,836
(B)	向日葵	117,892,767	0	215,853,766
	胡麻	39,011,152	67,443,776	0
	甘蔗	162,909,760	632,224,915	74,006,400
生質酒精效益=		869,141,075	生質柴油效益= 440,201,461	

Env：eCO2 減量(公噸)

能源作物		第一區	第二區	第三區
(fk,z)	向日葵	33,559	0	39,289
	胡麻	11,525	23,192	
	甘蔗	39,161	95,828	30,836
(B)	向日葵	266,794	0	488,362
	胡麻	88,279	300,567	0
	甘蔗	245,931	852,870	111,626
生質酒精效益=		1,210,428	生質柴油效益= 1,144,002	

圖 5.1 環境效益



圖 5.3 農民收入之經濟效益



## 第六章 結論與建議

評估廢耕地發展能源作物在台灣發展的效益，對台灣環境、能源及經濟均有正面助益，所得評估結果可協助政府相關部門在能源作物栽種方面，作出更好的決策。為評估廢耕地發展能源作物之效益，由於區域特性不同，故本研究首先提出分區方法，將台灣為了利用廢耕地發展能源作物分成三個區，並討論環境因子及特性因子，篩選出各分區適合栽種的油料作物及酒精作物。其次，依利用廢耕地發展能源作物所產生的環境效益、能源效益、經濟效益及社會效益，探討了各項效益之優劣，並且建立了評估廢耕地發展能源作物優選模式，經由優選模式的計算，找出了各分區栽種能源作物的優選作物及栽種面積。以下總結本研究的成果及說明重要結論，並建議可繼續探討的方向及問題，以供後續研究參考。

### 6.1 結論

本研究主要的研究成果，共有五點重要結論，以下一一說明之。

#### 1. 建立評估能源作物的分區方法

由於作物生長會受區域氣候所影響，本研究因而依據以柯本氣候分類法對氣候分類的定義，配合台灣30年的長期監測資料，將台灣分為熱帶雨林氣候(Af)、熱帶莽原氣候(Aw)、溫帶常濕氣候(Cf)、溫帶冬乾氣候(Cw)及苔原氣候(ET)等5種氣候類型，其中有因土地面積狹小較不適合發展能源作物，亦有因對作物之生長環境不佳，將台灣本島分為熱帶莽原氣候(Aw)、溫帶常濕氣候(Cf)及溫帶冬乾氣候(Cw)三種主要的氣候類型，作為台灣能源作物之主要分區。

#### 2. 分析適栽地區環境因子及適栽作物特性因子

本研究建立評估能源作物適栽性的環境因子，包括土壤經濟、降雨量、氣溫、日照天數，以分析各因子對適栽作物的影響，並初步篩除不適合在該區域環境之作物。且以適栽作物特性因子以產量、收穫數、產油(糖)率為指標，篩選出較合適在各區栽種之能源作物。

#### 3. 建立能源作物之評選方法

為了決定台灣能源作物的適栽種類，本研究建立二階段之能源作物評選方法。第一階段為適栽地區環境初選，以適栽地區環境因子決定該能源作物適栽或不適栽；第二階段為適栽作物特性評選，以適栽作物特性因子評定較適栽的能源作物。依本研究建立之能源作物之評選方法，油料作物在第一區選出胡麻、花生、向日葵；在第二區選出花生、胡麻、向日葵；在第三區選出花生、向日葵、大豆。另外，酒精作物在第一區選出甘藷、甘蔗、甜高粱；在第二區選出甘蔗、甘藷、玉米；在第三區選出甘藷、甘蔗、玉米。

#### 4. 分析能源作物之效益

本研究為了建立能源作物之優選模式，依據環境效益、能源效益、經濟效益與社會效益等四面向，分別討論各效益在能源作物的發展中，可能產生的影響，並具體量化後作為本研究優選模式之用。能源作物在環境保護上的效益，以能源作物每公頃可降低排放 $eCO_2$ 的量評估；能源效益分析則依據單位面積能源作物之能源產量；在經濟效益方面主要有二部份，一為每公頃農民的收入，二為每公頃廢耕地利用之產值。由於土地資源珍貴，雖然是採用廢耕地，亦應以最小面積發揮最大效益為目標，然而最小面積及最大效益二個目標是具有衝突性的目標，不太容易同時進行優選，故本研究採用二階段模式求取接近最小面積及最大效益之近似最佳解，求解效率亦較高。

#### 5. 建立能源作物之優選模式及情境分析

為了使能源作物之發展更有效率，故本研究建立能源作物之優選模式，本研究採用二階段模式求取近似最佳解，第一階段先放寬生質柴油及生質酒精總需求量為最小需求量再加 5%，並求最小栽種面積；第二階段則依據第一階段所求出的面積，求取最大效益解。情境設定需依政策方向與時俱進來設定，在生質柴油方面，本研究依據經濟部提出之能源作物綠色公車計畫等四階段行動方案，在生質酒精整體發展策略部分，規劃了綠色公務車先行計畫等三階段行動方案，另外參考經濟部能



源局 2006 年全國車輛用汽、柴油用量，設定了八種不同的情境，其中情境一至情境六為 2006 年至 2011 年台灣在能源作物之政策方向，情境七至情境八是規劃發展到 B5 及 E10 的情境。在情境八時，生質柴油及生質酒精所需產量下之最小栽種面積為 273,389 公頃。以現有台灣廢耕農地面積為 273,768 公頃，在情境八時已利用 99.86% 之廢耕農地，故情境八為接近完全將台灣廢耕農地全數利用之情境。以生質柴油及生質酒精栽種的區域與種類來觀察，栽種之種類在油料作物以胡麻為優，在酒精作物則以甘蔗為佳，以台灣農地不大的耕地實施能源作物之栽種，生質柴油及生質酒精各以一種來栽種，是符合台灣之需求的栽種方法。

## 6.2 建議

依據本研究研究過程的發現及經驗，提出下列四項建議，以供進行後續研究時參考。

### 1. 考量其他能源作物評選因子

本研究評選因子以適栽地區環境因子及適栽作物特性因子作為篩選的因子，然而除了上述因子會影響評選結果外，尚有其他因子亦有可能對能源作物評選有間接之影響，例如蟲害因子。蟲害因子是能源作物之天敵，雖然各種作物所面臨的蟲害，均有適當的除蟲劑可解決，但過多的農藥殘留，將對環境造成更大負擔。

### 2. 畸零地及集體化耕作的考量

本研究對能源作物之評估，主要是對一個區域的合計廢耕地作為計算廢耕地面積，但實際上許多畸零地散佈在這個區域的各地，耕作上是否具有經濟價值尚待探討。另一方面，集中在同一區域的耕地，因台灣平均農民持有耕地不足一公頃，在所有權分散的情形下，耕作集體化是發展能源作物下一個要克服的問題。

### 3. 污染地、下陷地的考量

由於近四十年來工業發達，以往不重視環保所遺留下來的污染，造

成土壤程度不一的破壞，其他尚有因地下水超抽而使土壤鹽化而失去耕作的價值，這個部份的調查也可以作為未來改進的方向。



## 參考文獻

- 97年度推動「建立能源作物產銷體系計畫」說明資料，(97年)，行政院農業委員會農糧署，<http://www.afa.gov.tw/>。
- 王志賢，(95年)，「台灣種植能源作物以提煉生質酒精之可行性分析」，國立中興大學應用經濟學研究所，碩士論文，台中。
- 王明果、謝兆申，(77年)，「台灣土壤1:250000土壤分佈圖」，國立中興大學農學院土壤調查試驗中心，台中。
- 王益真，(96年)，「可更新生質資源於永續能源應用的前景」，*林業研究專訊*，第十四卷，第三期，18-21頁。
- 王啟桂，(68年)，「蔗作學」，國立編譯館，台北。
- 丘逸民，(92年)，「從世界氣候分類系統看中國大陸與蒙古氣候區劃(1):柯本分類法」，*師大地理研究報告*，第三十八期，31-53頁。
- 丘應模，(77年)，「台灣之經濟作物」，台灣商務印書館，台北。
- 台灣數值地形圖，(97年)，台灣大學地質資訊系網站，[http://volcano.gl.ntu.edu.tw/worldwide/taiwan\\_digitalmap\\_large.htm](http://volcano.gl.ntu.edu.tw/worldwide/taiwan_digitalmap_large.htm)。
- 古森本，(97年)，「生質能源作物之開發與潛力」，*農業生技產業季刊*，第十三期，46-53頁。
- 左峻德、蘇美惠，(97年)，「我國農業生質能之經濟性與產業政策研析」，台灣經濟研究院，台北。
- 石林鎧、吳珮瑛，(95年)，「台灣未來生質能源發展初步評估」，*全球變遷通訊雜誌*，第五十期，1-6頁。
- 余序江、許志義、陳澤義，(87年)，「科技管理導論：科技預測與規劃」，五南圖書出版有限公司，台北。
- 利幸貞、蔡淑珍、劉慧瑛、陳一心，(95年)，「不同甘藷品種於釀酒特性之研究」，*台灣農業研究*，第五十五卷，第三期，181-189頁。

- 吳重儀，(92年)，「水稻田甲烷散發量之推估」，國立台灣大學生物環境系統工程研究所，碩士論文，台北。
- 吳耿東、李宏台，(96年)，「全球生質能源應用現況與未來展望」，*林業研究專訊*，第十四卷，第三期，5-9頁。
- 汪呈因，(69年)，「特用作物學」，國立編譯館，台北。
- 周美惠，(94年)，「以生質柴油代替高價油—從德國經驗談起」，*環境資訊電子報*，<http://e-info.org.tw/special/fcar/2005/fc05092101.htm>。
- 林昀輝、盧文章、李宏台，(95年)，「生質酒精之生產與利用」，*生物技術與綠色農業研討會*，第57-65頁。
- 林俊義，(96年)，「我國發展生質能源作物之展望」，*林業研究專訊*，第十四卷，第三期，29-34頁。
- 林俊義，(96年)，「國際推動生質能源作物之展望」，*林業研究專訊*，第十四卷，第三期，35-40頁。
- 林俊義、賴瑞聲，(96年)，「台灣地區生質酒精作物評估」，*農業試驗所技術服務*，台北。
- 林正銊、蔡彰輝，(83年)，「台灣耕地土壤及作物適栽性評估圖鑑」，行政院農委會，台北。
- 林立夫、郭明朝、楊盛行、陳建源，(95年)，「生質能源開發與利用」，國立台灣大學生化科技學系，台北。
- 邱祈榮、梁玉琦、賴彥任、黃名媛，(93年)，「臺灣地區氣候分區與應用之研究」，*台灣地理資訊學刊*，第一卷，41-62頁。
- 姚向君、田宜水、張勝雄、梁財春、張春田，(96年)，「生質能源—綠色黃金開發技術」，新文京開發出版股份有限公司，243-304頁。
- 范純志，(87年)，「氣候變遷對臺灣地區地下水補注量的影響」，國立台灣大學環境工程研究所，碩士論文，台北。

- 祝鴻鵬、曾憲瑗、郭忠暉、黃拔源，(79年)，「台灣西部春夏海陸風與對流雲」，天氣分析與預報研討會論文彙編，交通部中央氣象局，339-346頁，台北。
- 翁國盈，(95年)，「中國型氣候概說」，社會新天地，第十三卷，20-23頁。
- 馬復京、游漢明，(96年)，「以林木種子油脂生產生質柴油」，林業研究專訊，第十四卷，第三期，22-25頁。
- 曹文隆、楊金興，(93年)，「花生新品種台農7號珍甜之育成」，農業試驗所技術服務，第五十五卷，22-26頁。
- 郭鴻裕，(84年)，「土壤研究」，台灣省農業試驗所一百年來之試驗研究專刊，122-128頁。
- 陳介武，(94年)，「防制空氣污染面面觀—全球採用生質柴油，空氣清潔而保健康」，美國黃豆協會。
- 陳建男，(91年)，「產業情境分析與策略發展關係之研究—以TFT-LCD產業為例」，中原大學企業管理研究所，碩士論文，桃園。
- 陳尊賢、許正一，(91年)，「台灣的土壤」，遠足文化事業，台北。
- 黃宗煌、黃瀕儀，(94年)，「稻田轉種能源作物生產生物能源的評估與政策整合」，2005水稻田農業多樣性機能研討會，第85-107頁，台中。
- 黃惠娟、曹文隆、張愛華，(84年)，「春作綠肥作物適合性之評估」，中華農業研究，第四十四卷，第四期，413-419頁。
- 黃懿泰、曾美倉、王能啟，(84年)，「環境對玉米雜種優勢的影響」，台灣省農業試驗所專刊，第四十九卷，61-72頁。
- 劉廣英，(79年)，「台灣地形與雨量分佈關係之研究」，天氣分析與預報研討會論文彙編，交通部中央氣象局，台北。
- 樓邦儒、賈立人，(89年)，「柯本氣候分類與模糊氣候分類之比較—以台灣為例」，國立臺北師範學院學報，第十三卷，293-310頁。

- 蔡文福，(83年)，「雜糧作物各論II油料及豆類」，台灣區雜糧發展基金會，台北。
- 蔡文福，(83年)，「雜糧作物各論I禾穀類」，台灣區雜糧發展基金會，台北。
- 盧英權，(83年)，「作物學」，國立編譯館，台北。
- 歷年油價一覽表，(97年)，經濟部能源局，<http://www.moeaec.gov.tw/>。
- 蕭丁齊，(95年)，「台灣地區種植能源作物之可行性研究-以生質柴油為例」，國立中興大學應用經濟學研究所，碩士論文。
- 賴瑞聲、吳明哲，(96年)，「生質酒精新興作物—甜高粱」，農業試驗所技術服務，第72期，35頁。
- 謝光照、曾富生，(87年)，「台灣不同地區台南白玉米族群性狀之變異」，*中華農業研究*，第四十七卷，第三期，204-219頁。
- 謝光照、楊金興，(96年)，「94年雜糧作物試驗研究年報」，行政院農委會，台中。
- 魏國棟、洪雪卿、吳孟道，(97年)，「生質柴油與固態衍生燃料之成本效益分析」，*法制論叢*，第四十二期，67-84頁。
- 羅傳成，(78年)，「甘蔗優良品種之育成」，經濟部，台北。
- 蘇宥宜，(94年)，「應用情境分析方法 研究台灣地區單一小客車交通事故」，國立交通大學交通運輸研究所，碩士論文，新竹。
- 蘇建銘，(95年)，「台灣稻農轉作能源作物之決策分析」，中國文化大學經濟學研究所，碩士論文，台北。
- Farrel, A.E., Plevin, R.J., Turner, B.T., Jones, A.D., O'Hare, M., and Kammen, D.M. (2006). "Ethanol can contribute to energy and environmental goals." *Science*, 311, pp. 506.
- Kavalov, B. (2004). *Biofuel Potentials in the EU*. Insitute for Prospective Technological Studies (IPTS), European Commission Joint Research Centre, pp. 5.

- Granda, C.B., Zhu, L., and Holtzapple, M.T. (2007). "Sustainable Liquid Biofuels and Their Environmental Impact." *Environmental Progress*, 26(3), pp. 233.
- Cohon, J.L. (1978). *Multiobjective programming and planning*. Dover Publications, INC., Mineola, New York, USA.
- Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S., and Tiffany, D. (2006). "Environmental economic and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels." in *the Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Washington, 103(30), pp. 11206-11210.
- Kao, J.-J. and Lin, H.-Y. (1996). "Multifactor Spatial Analysis for Landfill Siteing." *Journal of Environmental Engineering*, 122, pp. 907.
- Martino, J.P. (1993). *Technological Forecasting for Decision Making*, 3<sup>rd</sup> ed., McGraw-Hill INC., New York, USA.
- Porter, A.L., Roper, A.T., Mason, T.W., Rossini, F.A., Banks, J., and Wiederholt, B.J. (1991). *Forecasting and Management of Technology*, John Wiley & Sons INC., New York, USA.
- USEPA. (2002). *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*, EPA420-P-02-001. pp. 36-46.