

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

生質柴油之料源供給、不確定需求及潔淨能源技術的整合研究(II-I)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2415-H-007-001-SSS

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立清華大學科技與社會研究中心

計畫主持人：黃宗煌

計畫參與人員：黃瀕儀、于眾峰

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 11 月 7 日



生質柴油之料源供給、不確定需求及
潔淨能源技術的整合研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2415-H-007-001-SSS

執行期間：93年8月1日至94年7月31日

計畫主持人：黃宗煌

共同主持人：

計畫參與人員：黃瀕儀

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：清華大學科技與社會研究中心

中華民國 94 年 9 月 30 日

生質柴油之料源供給、不確定需求及 潔淨能源技術的整合研究

填報單位：清華大學科技與社會研究中心

壹、摘要

貳、研究動機

面對加入 WTO 及溫室氣體減量的雙重壓力，我國政府部門各本其職研擬因應措施，如農委會鼓勵休耕並對地補貼，能源會則擬訂再生能源發展方案及再生能源發展條例草案，冀能多管齊下，提高再生能源在初級能源總供給的配比，環保署則考慮採行各種溫室氣體減量措施。在這複雜的行政體系與多元目標中，推廣生質柴油的生產與應用，不但與各部門的努力目標一致，而且同時有助於農業、能源、以及環境的永續發展，是值得各界重視的課題。

生質柴油之生產與應用的推廣，對我國無疑是一想嶄新的挑戰，其間所涉及的問題相當多，必須事前審慎思考，周全規劃。本計畫期以兩年時間，針對此一課題的若干關鍵性議題，從學理上建構完整的基礎，並經由實地問卷調查的資料，進行實證分析，希望在政策上提出具有建設性與前瞻性的建議，在學術研究上提出創新性的貢獻。

本計畫係基於以下各項事實的觀察，著眼於農業政策、能源政策、以及環境政策的整合，藉以促成農業、能源、與環境的永續發展。

1. 農業生產、農地利用及農民所得面臨新挑戰

我國加入 WTO 後，農業生產、農地利用、乃至於農民所得都面臨亟待改善的問題。就農業生產而言，主要的傳統作物（如稻米）不僅因生產成本高而缺乏競爭力，在 WTO 的進口壓力下，價格難擋下降趨勢，影響農民所得的問題一直是產官學界同所關切的問題。就農地利用而言，在糧食安全及農地之環境效益的雙重考慮下，農業主管機關（農委會）雖然擬訂因應對策（例如休耕），避免生產過剩及因農地轉用而影響農業生產容量（agricultural production capacity），惟其社會效率性及渴望性（social efficiency and desirability）卻未經適當的評估，因為主管機關沒有充分考慮休耕以外之其他利用方式（例如轉種能源作物）的可行性。就農業政策工具而言，現行的稻米的價格支持及休耕補貼，在政策目標及實質效果上原本就相互衝突，而且未能與其他主管機關的政策工具適度地相互整合，在政府部門間各行其是的傳統下，各項政策工具的效率與效果不免大打折扣。因此，本計畫將通盤檢討當前主要作物生產及農地利用所面臨的困境，從轉種能源作物的角度出發，冀能為我國的農業永續發展提出另一可行的管道。

2. 生物能源具有多元功能

種植能源作物來轉換生物能源（例如生質柴油及生質酒精），至少具有農業政策、資源政策和生態保育等三方面的效益：

（1）農業政策面的功能

休耕和粗放耕種是先進國家解決糧食過剩的兩項傳統農業政策，但是利用農產品生產生物能源，則為解決糧食過剩締造了第三條可行的道路，同時也為我國加入 WTO 後所面臨的農業問題（例如市場競爭、農民所得因農產品價格降低而減少），開啟另一個轉機。例如，為了減少糧食過剩，德國農場必須每年休耕 10% 左右的耕地；對休耕的耕地政府給予補貼，但農場可以在休耕地上種植做為可再生原料的農產品，並繼續得到國家的休耕補貼。近些年來，作為生物能源的農產品種植面積不斷上升，1999 年達到 750,000 公頃，占耕地面積的 6%，占休耕地面積的 50%。由此可知，農業被賦予了一項新的任務：生產生物能源的原料。

（2）資源政策面的功能

從資源政策方面看，貯量有限的礦物資源如石油、天然氣和煤炭應得到保護，如果照目前的趨勢開採下去，要不了多久，許多資源將會枯竭。因此，發展再生能源（包括太陽能、風力、生質能、地熱及水力）是未來全球追求永續能源發展的重要策略之一，其主要目的包括：(i) 加強能源安全：豐富及分散能源、增加能源的原生能力（降低進口依賴度）以及低耗竭性；(ii) 降低全球及區域污染與溫室氣體排放；(iii) 提高特定能源需求（如基礎建設）的滿足度；(iv) 增加地方與區域的就業機會。

目前發展生物能源做為化石燃料的替代品，不僅是國際社會咸所重視的策略，在實務上亦有多年的經驗，例如美國、巴西、德國均已生產商業化的生質柴油。提高附加價值的生產策略，對於生產成本較高的傳統作物而言，不啻是另一可以考慮的途徑。能源會所擬訂的「再生能源發展條例草案」及「再生能源發展方案」，都有具體的政策工具來輔導生物能源的發展和應用。

（c）生態環境的功能

開發利用農產品做為生物能源會帶來物質和能量的良性循環，對生態環境有著積極的作用。有些農產品在生產過程中雖然會產生溫室氣體，也會因使用過量的農化資材而造成一些環境污染問題，但用以生產出來的生物能源，則比當前的主要化石能源更為乾淨，不會對環境造成破壞。

此外，作為生物能源的農產品種植面積可拉長輪作幅度，即同一塊地上作物種類的更換可以更加頻繁，這不但有利於恢復地力，還有利於減少病蟲害，減少肥料和農藥的使用量，從而有利於保護土地和水體。另外，一旦可以成功地做為生物能源的原料，將可誘導農產品新品種的開發和利用，如此將有利於形成生物多樣性，作物生產所衍生的生態景觀將更加豐富多彩，動物的生存環境也將多樣化。

種植能源作物，不僅可阻止土壤的流失，還可幫助土壤建立新土壤層。到目前為止，

科學家們已發現了 40 多種能源作物。現在，歐洲一些國家已在大規模種植芒屬植物，英國曾以 61 萬公頃的土地來種植這種能源作物。德國也興建了多座發電廠，其燃料就是芒屬植物、白楊、柳的混合物和稻稈。科學家認為，現在普通植物對於陽光的利用效率不到 4%，如果通過研究使其提高到 5%，那麼只要世界農田面積的 1/10，就可提供相當於目前人類使用的全部化石燃料的能源。

由於使用再生能源所衍生的外部效益與外部成本，都是吾人規劃最適能源結構，或提升能源效率與生產力的必須加以考慮的因素，因此，未來加強上開外部效益與外部成本的評估，將是一件頗富挑戰性，又具政策性意義的重要工作。

3. 生物能源的發展涉及諸多值得重視的課題

推廣生物能源的生產和應用，初期仍不免面臨許多問題與障礙，各主管機關所面對的課題也不一而足。整體歸納起來有如下數端：

(1) 料源（亦即能源作物）的供給問題

就生質柴油而言，可能的主要料源係以油脂作物為主，包括油菜子、大豆、向日葵、椰子等。相對於稻米的生產利潤而言，這些能源作物的競爭性並不大，但目前用以休耕的農地（目前約有 22 萬公頃），因種植綠肥（如油菜）所能創造的農地保育效益，也未必高於政府的補貼。因此，農民在面對多重選項之下（例如種植傳統作物、休耕、轉作能源作物等），應該如何針對農地配置的問題，做出明智的抉擇呢？

此一攸關生物能源之料源的供給問題，事實上並不單純，更不止於農地配置的模型建構（land allocation modeling）問題及替代彈性（elasticity of substitution）的推估問題；即便政府為能源作物的生產提供明確的價格支持，生產者仍面對能源作物之需求面的不確定性，在這種情況下，吾人必須掌握農民生產能源作物的「願收價格軌跡」（willingness to pay locus, WTA）。此一議題的研究，在當前國內外文獻，迄未有所著墨。

(2) 與化石燃料的市場競爭問題

推廣生物能源應用的最大障礙，莫過於其與化石能源之間的競爭力薄弱，這不僅涉及生物能源的成本（包括料源成本與能源生產成本）遠高於化石能源的成本問題，同時也與能源消費者的偏好有關。因此，如欲克服生物能源的競爭劣勢時，必須同時考慮生產面與消費面的政策工具。此外，國外有關生物能源與化石能源之間的替代彈性及產品轉換率（marginal rate of transformation），也是平衡此二能源之市場競爭問題所不可忽視的問題。總之，能源產品市場的均衡分析，是排除生物能源應用之障礙的重要課題；唯有掌握能源產品市場的均衡價格，才能使各項政策工具達到預期的政策目標。

值得一提的是，消費者對生物能源的偏好固然攸關生物能源在應用上的可行性，但目前我國尚未正式生產生物能源，因此並無市場存在。因此，本研究將參考國外的經驗，並應用可行的研究方法（包括問卷調查），在考慮生物能源之品質（包括穩定性、功能性）及消費者的綠色消費態度下，推估出消費者的「願付價格軌跡」（willingness to pay locus, WTP）。

(3) 政策工具的選擇與制訂問題

與生物能源的生產與應用有關的政策工具相當多，其中包括農業主管機關（農委會）所掌控的價格支持、對地補貼（包括休耕補貼、轉作補貼等）；能源主管機關（經濟部能源會）所掌控的再生能源生產與應用補貼、油品進口管制與收費（如石油基金或能源稅）等；環保署所掌控的空污費（或碳稅）。

上述的政策工具應該如何選擇並整合，補貼或收費的標準應該如何訂定，都是推廣生物能源生產與應用的重要課題。然而，在政府單位各行其是的決策機制下，此一課題卻未贏得應有的重視。有關環境政策工具的整合（例如污染物之排放標準與排放費的整合、資源回收再生之補貼與收費的整合），在歷有文獻已有豐富的文獻可考，但在再生能源的議題上，在當前國內外文獻也同樣沒有著墨。

（4）化石能源潔淨技術進步的問題

由於化石能源的污染性（包括傳統污染物及CO₂的排放）是永續能源發展議題中的首要挑戰，因此，先進國家的能源政策，無不以鼓勵潔淨能源技術的研發和創新為重點。此一發展策略，在可預見的將來，勢必有所突破，並對能源市場造成不容忽視的影響，其中對於當前發展生物能源或其他再生能源（如風力、太陽光電等）的努力，或將產生負面衝擊。因此，吾人必須關注潔淨能源技術的研發與創新的政策及潛在成效（例如市場穿透率（market penetration）的潛力、學習曲線（learning curve）的特性及其變動等）。

目前先進國家對於化石能源之潔淨技術的市場穿透率或學習曲線的研究，大都從工程技術的角度奠定客觀的基礎，但如何將這些資訊，融入再生能源的政策分析中，同樣乏善可陳。

以上四項問題，都是政府在推廣生物能源之生產與應用時，不得不深思的課題。本計畫即立基於此，期以兩年的時間，為相關的議題研究，開創新的思路，希望能提出具有創新性與可行性的政策建議，為再生能源的永續發展貢獻綿薄之力。

參、 研究目的

本計畫第一年生質柴油之料源生產的最適結構為重點。為此，本年度將同時考慮現行及計畫中之政策工具（包括農業、能源、以及環境政策等）、傳統作物與能源作物之種植型態（cropping system）及生產週期（production cycle）的差異、以及生質柴油之需求面的不確定性，建構一個作物生產模型，藉以分析生產者的土地配置與種植能源作物的願收價格軌跡（willingness to accept locus, WTA），並經由實證分析，掌握作物間的替代彈性。具體目的如下：

1. 通盤分析並檢討當前的農業政策、能源政策、以及環境政策，並分別說明各主管機關的所運用的政策工具，並與國外所推動的政策工具相互比較。
2. 分析生質柴油之主要料源及其生產現況（包括生產區位、生產季節、環境條件、產量、價格及生產成本等）。
3. 建構能源作物的生產決策模型，藉以分析農地配置的決策準則，並據以推導出農民生產能源作物產品的 WTA，並分析其影響因素。
4. 進行實地問卷調查，蒐集農民現有之生產結構及其收益與成本等資料，同時調查農民生產能源作物的意願及願意接受的最低價格，以做為推估農地配置及 WTA 的資

料來源。

5. 設定能源作物的需求情境，並利用能源作物產品市場的均衡條件，推估均衡價格，並就各項可能的影響因素，分析對土地配置、能源作物產量、以及均衡價格的影響其效果。

肆、 研究方法

一、 執行步驟

本計畫的執行步驟可以圖 1 表示之。

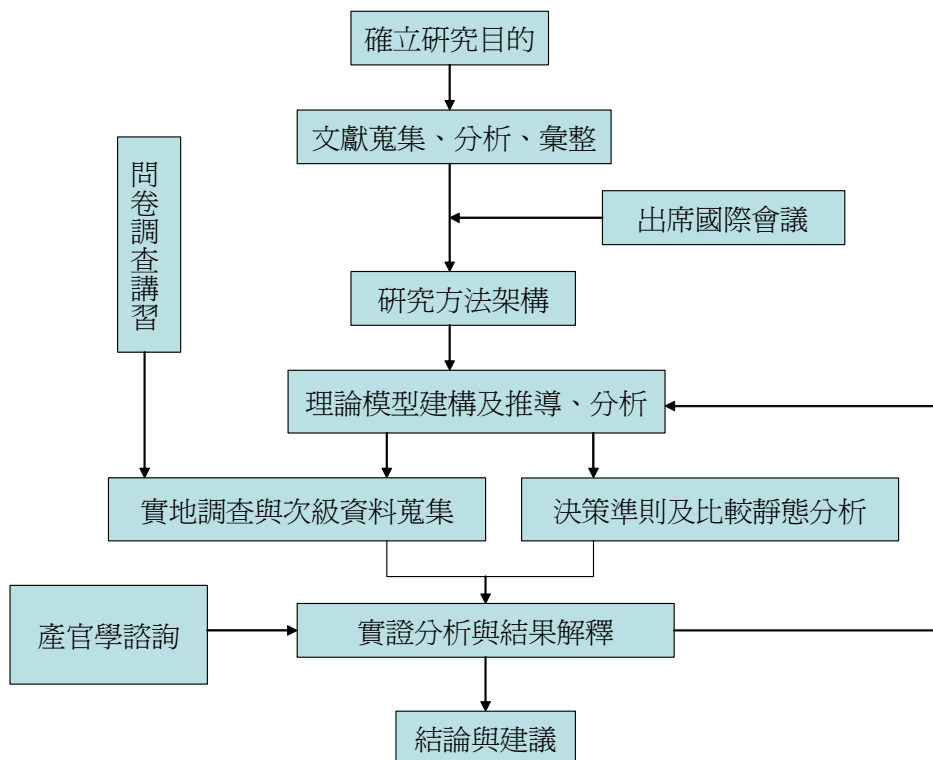


圖 1. 本計畫執行步驟示意

二、 建立整體模型結構

本研究之整體架構如圖 2 所示。由此可知，在政策層面上，本模型兼顧農業政策、能源政策、以及環境政策。在決策這層面上，本模型兼顧作物生產者、生物能源生產者、以及能源終端消費者。

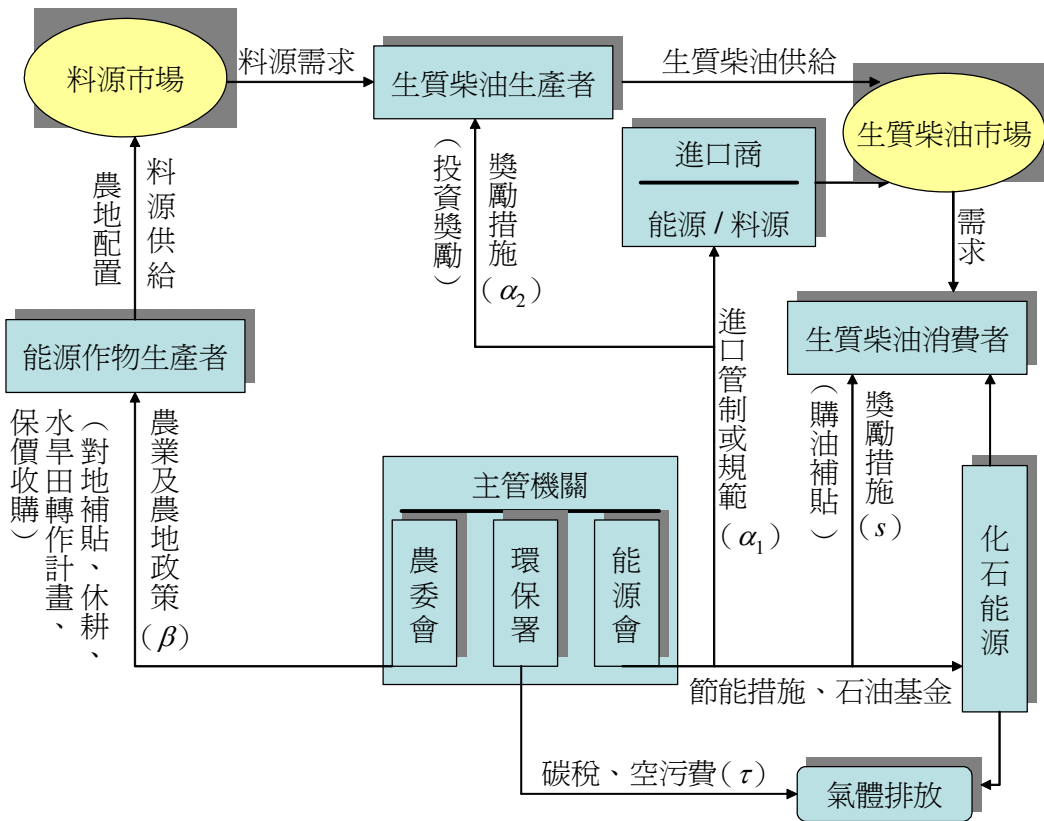


圖 2. 本計畫之研究架構

三、 建立能源作物生產決策模型

關於能源作物的生產決策，吾人考慮土地在多種作物中的配置，其中包括休耕。至於生產者所面對的能源作物獎勵措施，則包括政府對傳統作物（在此以水稻為主）的補貼、及對能源作物的補貼，其中對能源作物的補貼則具有不確定性。

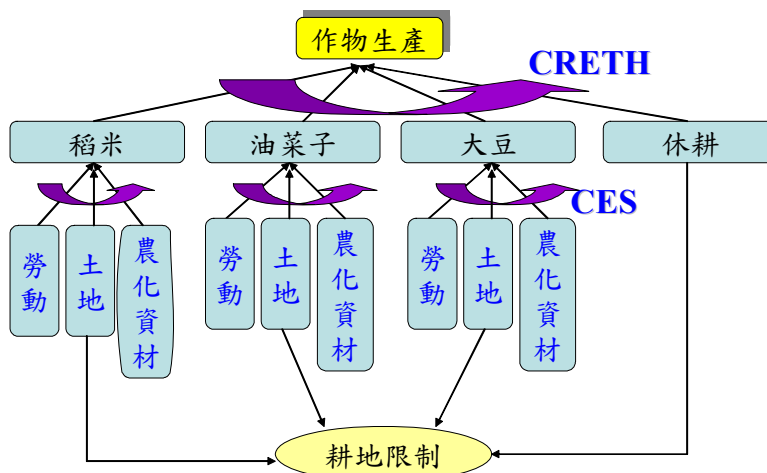


圖 3. 能源作物的土地配置模型

由圖 3 可知，吾人將考慮農民如何在有限的耕地面積下，做出最有效率的耕地配置，

並結合其他初級要素（如勞動）和中間投入（如農化資材），用以生產各種作物（包括能源作物及傳統作物）。在這個模型中，吾人將考慮各項要素之間的替代彈性、以及各項作物產之間的轉換彈性，其中生產函數將考慮以固定替代彈性（constant elasticity of substitution, CES）設定如式（1）所示：

$$Y = A \cdot \left\{ \sum_{i=1}^I \delta_i x_i^{-\rho} \right\}^{-1/\rho} \quad (1)$$

其中 $\sum_{j=1}^J \delta_j = 1; \rho \geq -1$ 但不等於 0。

至於農民的決策目標，本模型除了考慮其所面對的各項農業政策工具之外，將同時考慮需求面的不確定性（此時作物產品之需求者所願意支付的價格為一隨機變數），因此，吾人將假設農民係以確定性當量（certainty equivalent, CE）之折現值的總合最大化為決策目標，亦即：

$$\text{Max}_{\{X, R\}} CE = \sum_{t=1}^{\infty} \left(E(\pi) - \frac{\lambda}{2} \sqrt{\text{Var}(\pi)} \right) / (1+r)^t \quad (2)$$

其中 $E(\pi)$ 與 $\text{Var}(\pi)$ 分別代表利潤之期望值與變異數； λ 為相對風險係數。

由於連續在同一坵塊種植作物及休耕，對於耕地的生產力有不同的影響，因此，本模型亦將以耕地使用的調整成本（adjustment cost）來反映此一差別，設定方式如式（3）所示（Huang (1992)、李蕙君 (1996)、黃瀕儀 (2002)）：

$$C_t = (d/\bar{A})[\bar{A} + (1-r)A_{t-1} + A_{t-1}] \cdot A_{t-1} \quad (3)$$

式（3）顯示調整成本係與耕地使用的連續性有關。由於連續在同一坵塊種植同一種作物時，土地會有生產力耗竭之現象（例如對所有作物而言，氮素均為重要之限制因子），並可能孳生特定之害蟲，對土地及作物造成間接危害。種植不同作物時，則對土壤肥力則可能有替代或互補之情況，所以調整成本之函數型態的設定便極為重要。式（3）的最大優點不僅在於其為動態機制的主要來源，而且足以反映上述土壤肥力變動的可能情況。一般而言， $d > 0$ ，因此，若 $(A_{t-1}/\bar{A} + A_{t-1}/\bar{A})$ 越大時，則上述代表前期與本期重複使用土地的結果，土地生產力將因而耗竭，導致本期稻作生產量會下降；若 $(A_{t-1}/\bar{A} + A_{t-1}/\bar{A})$ 越小，將會有較多之地力留至本期，所以本期稻作生產量會增加；而若上一期休耕面積（ rA_{t-1} ）增加，可使本期土壤肥力改善。反之，若 $d < 0$ ，表示持續生產同一種作物時，地力不但不會耗竭，反而還可與時俱增，此種現象一般出現在雖有投資於從事地利改良（land improvement）的工作，但卻無反應在生產成本之上。

四、 建立能源作物需求/生質柴油供給模型

在此一模型中，吾人將考慮生質柴油之生產者的決策模型，本模型將假設之生質柴油之生產函數為 Constant Ratios of Elasticities of Substitution, homothetic (CRESH, 見式 (4))：

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{Y} \right)^{h_i} \frac{\beta_i}{h_i} = \alpha \quad (4)$$

其中 $\alpha, \beta_j > 0; \sum_{j=1}^m \beta_j = 1; h_i < 1$ ，但不等於 0。

由於各種能源作物轉換成生質柴油的成本，在現階段無實際值，因此必須參考國外的經驗值，或尋求國內相關單位（例如工業技術研究院）的協助推估。

五、建立消費者能源的終端需求決策模型

就能源消費的決策而言，本研究將以圖 4 為基礎，建構一個兩階段的選擇模型，在第一階段，消費者決定各種財貨（包括能源與非能源）的消費，在第二階段則決定生質柴油的消費。第一階段將以線性支出系統（linear expenditure system, LES）為基礎，第二階段的能源消費，則以 CES 加總為總合能源，因此可以考慮到生質柴油與化石燃料之間的替代彈性。

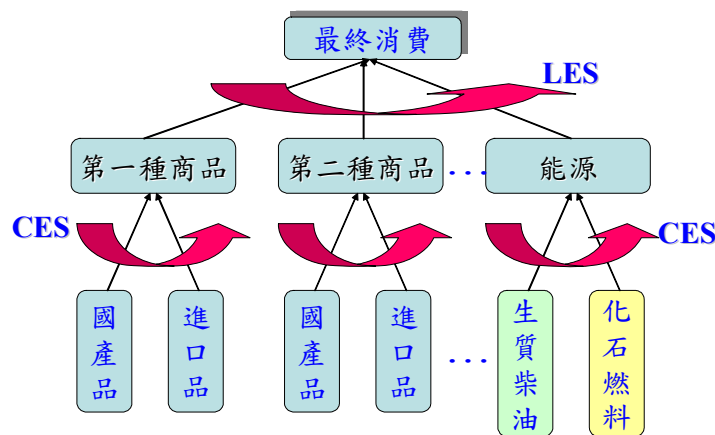


圖 4. 消費者的決策

六、舉行問卷調查

為完成本計畫的各項工作，並落實實證分析的結果，本計畫舉辦了實地問卷調查（問卷表如附件），共抽取樣本 500 戶，實際可用有效樣本 300 戶。調查之重點及樣本數如表 1 所示。

表 1. 問卷調查內容

項目	第一年
調查對象	能源作物生產者，包括稻農、休耕地農戶、以及主要能源作物（大豆、油菜、向日葵）生產戶
主要內容	生產成本、利潤、轉作意願、WTA、風險態度指標
樣本數	總數以 500 戶為原則，採分層比例分配到各類農戶。
調查方法	實地問卷調查
抽樣方法	分層隨機抽樣
每份問卷所需成本（元）	250 元（不含問卷印製費）

伍、 主要成果

1. 充分掌握國外發展再生能源之主要策略及施行績效，並瞭解其成敗的關鍵性因素，以做為我國的參考。
2. 為農民的生產決策建立嶄新的模型，並可分析農業政策工具及能源政策工具對農民決策以及能源作物產品之價格等重要變數的影響。在需求面不確定的考量下，本模型將可用以推導出農民轉作能源作物所願意接受的最低價格軌跡。
3. 為消費者建立兩階段的決策模型，藉以推導出消費者購買生質柴油所願意支付的最高金額軌跡，並可分析能源政策工具及化石燃料價格變動對消費者決策以及生質柴油之價格等重要變數的影響。
4. 建構一套具有一般均衡特性的最適政策整合模型，有系統地歸納出農業政策、能源政策、以及環境政策之間應有的調和（harmonization）關係，冀能提升政策工具的效率，避免造成效果相互衝突的後果。
5. 研究成果在實務上有助於我國推動再生能源的政策研擬，亦有助於解決我國農地利用及農民所得的問題。
6. 研究成果已在國內外相關學術期刊及會議中發表：

期刊	黃瀕儀、盧文章、黃宗煌（2004）。「能源作物的應用與發展」。 <u>化工技術</u> 第139期，191-208。
研討會	<ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Huang, Chung-Huang, Pin-Yi Huang and Wen-Chang Lu (2004). "Economics of Energy Crop Production for Biodiesel: Lessons and Implications for Taiwan."</u> Paper presented at the 22nd Joint Board Meeting of Sino-German Association for Economic and Social Research, December 13-14, Taipei. 2. 黃宗煌、周嫦娥（2005）。「推廣能源作物，促進可持續發展：潛力與問題」，<u>海峽兩岸農業與農村經濟可持續發展研討會</u>，武漢華中農業大學，2005年4月2-3日。 3. 黃宗煌、黃瀕儀（2005）。「推廣生質能的政策整合模式：以生質柴油為例」，Invited paper presented at <i>Shanghai Forum</i>, organized by Fudam University, Shanghai, May 16-17.